

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO – PPGA**  
**CURSO DE DOUTORADO**

**LUIS FERNANDO MOREIRA**

***EXPDP: PROPOSIÇÃO DE UM ARTEFATO BASEADO NA INDÚSTRIA 4.0***

**CAXIAS DO SUL**  
**2023**

**LUIS FERNANDO MOREIRA**

***EXPDP: PROPOSIÇÃO DE UM ARTEFATO BASEADO NA INDUSTRIA 4.0***

Tese de Doutorado submetida à Banca designada pelo Colegiado do curso de Doutorado em Administração da Universidade de Caxias do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Doutor em Administração linha de pesquisa estratégia e operações.

Orientador: Professor Doutor Gabriel Vidor

**CAXIAS DO SUL  
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

M838e Moreira, Luis Fernando

*EXPDP* [recurso eletrônico] : proposição de um artefato baseado na indústria 4.0 / Luis Fernando Moreira. – 2023.

Dados eletrônicos.

Tese (Doutorado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Administração, 2023.

Orientação: Gabriel Vidor.

Modo de acesso: World Wide Web

Disponível em: <https://repositorio.ucs.br>

1. Indústria 4.0. 2. Produtos novos. 3. Administração. 4. Pesquisa - Metodologia. I. Vidor, Gabriel, orient. II. Título.

CDU 2. ed.: 005.591.6

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)  
Márcia Servi Gonçalves - CRB 10/1500

**LUIS FERNANDO MOREIRA**

***EXPDP: PROPOSIÇÃO DE UM ARTEFATO BASEADO NA INDÚSTRIA 4.0***

Tese de Doutorado submetida à Banca designada pelo Colegiado do curso de Doutorado em Administração da Universidade de Caxias do Sul como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Doutor em Administração linha de pesquisa estratégia e operações.

Orientador: Professor Doutor Gabriel Vidor.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Gabriel Vidor – Orientador (UCS)

Prof. Dr. Mateus Panizzon - Avaliador (UCS)

Prof. Dr. Roberto Birch Gonçalves - Avaliador (UCS)

Prof. Dr. Fábio Verruck - Avaliador (UCS)

Profª. Dra. Janine Fleith de Medeiros - Avaliadora (UPF)

Prof. Dr. Carlos Honorato Schuch Santos - Avaliador (FURG)

**CAXIAS DO SUL  
2023**

## **DEDICATÓRIA**

“Indivíduos existem como agentes - e não como indivíduos biológicos, atores ou sujeitos, que são socialmente construídos como ativos e agindo no campo, considerando que possuem as condições necessárias para ser efetivo e produzir efeitos, neste campo... as pessoas são fundadas e legitimadas para entrar no campo por terem uma configuração definitiva das propriedades. Um dos objetivos da pesquisa é identificar essas propriedades ativas, essas características eficientes, essas formas de capital específico. Há assim uma espécie de círculo hermenêutico: para construir o campo, é preciso identificar as formas de capital específico que atuam dentro dele. E para arquitetar as formas de capital específico deve-se conhecer a lógica específica do campo”. (BOURDIEU e WACQUANT, 1992)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

Deixo um agradecimento especial ao meu orientador professor doutor Gabriel Vidor pelo incentivo e pela dedicação do seu escasso tempo ao meu projeto de pesquisa.

Agradecer a Capes por disponibilizar a bolsa Prosup Capes para o doutorado em administração.

Ao coordenador do PPGA da UCS professor doutor Alex Eckert.

Agradeço a banca examinadora desta tese: professor doutor Mateus Panizzon, professor doutor Roberto Birch Gonçalves, professor doutor Fábio Verruck, professora doutora Janine Fleith de Medeiros e professor doutor Carlos Honorato Schuch Santos.

Sou grato aos colegas do PPGA e a Universidade de Caxias do Sul por toda a infraestrutura para a realização da minha pesquisa.

## RESUMO

O desenvolvimento tecnológico impulsiona as empresas a buscar novas formas de aumentar sua participação nos negócios. A Indústria 4.0 surge como um novo paradigma, envolvendo a conexão das tecnologias físicas e digitais em todas as fases do negócio. A integração dessas tecnologias permite maior customização de produtos/serviços e redução do tempo de desenvolvimento e lançamento. O modelo *Stage-gate*, uma técnica de desenvolvimento de produto, pode ser aplicado para integrar as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e fomentar o processo de agregação de valor. Dessa forma, o objetivo desta tese é desenvolver um modelo de produto/serviço *Smart* aplicando o método *Stage-gate*, utilizando a metodologia de pesquisa DSR - *Design Science Research*. A fase quantitativa da pesquisa desenvolveu-se por meio de uma *survey* com 250 empresas do ramo metalmeccânico da serra gaúcha onde foi mesurada a importância, a maturidade das tecnologias habilitadoras e o processo de desenvolvimento de produto. Após foram feitos testes de normalidade e de confiabilidade de escalas seguidos de análises de frequência, estatísticas descritivas e análise de correlação entre as tecnologias habilitadoras e o processo de desenvolvimento de produto. Na fase qualitativa foram aplicadas avaliações por meio de entrevistas semiestruturadas sendo três entrevistas na versão um do artefato com especialistas acadêmicos e duas entrevistas na versão dois do artefato com dois profissionais da área de desenvolvimento de produto. Foram sugeridas melhorias durante a fase de avaliação qualitativa que por sua vez foi corrigida e evoluída para uma versão três do artefato, que foi denominado *EXPDP*. O *EXPDP* busca integrar tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 por meio da abordagem *Stage-gate*. A pesquisa propôs a integração de dez protocolos de atividades no método *Stage-gate* para desenvolver um modelo de produto/serviço *Smart*. A combinação de bibliometria e revisão sistemática integrativa permitiu identificar lacunas de pesquisa e obter uma visão abrangente do estado atual do conhecimento na área. A avaliação da importância da Indústria 4.0 no setor metalmeccânico e a medição da maturidade da Indústria 4.0 foram abordadas, destacando os desafios e oportunidades de melhoria. Os artefatos desenvolvidos mostraram que a ferramenta proposta atende às demandas levantadas, com possibilidade de aprimoramentos futuros.

**Palavras-chave:** Indústria 4.0, *Stage-gate*, Desenvolvimento de produto, *Design Science Research*.

## ABSTRACT

Technological development drives companies to seek new ways to increase their share in business. Industry 4.0 emerges as a new paradigm, involving the connection of physical and digital technologies in all phases of the business. The integration of these technologies allows greater customization of products/services and reduces development and launch time. The Stage-gate model, a product development technique, can be applied to integrate Industry 4.0 enabling technologies and foster the value aggregation process. Thus, the objective of this thesis is to develop a Smart product/service model applying the Stage-gate method, using the DSR - Design Science Research methodology. The quantitative phase of the research was conducted through a survey with 250 companies in the metal-mechanic industry of the Serra Gaúcha region, measuring the importance, maturity of enabling technologies, and the product development process. Normality and scale reliability tests were performed, followed by frequency analysis, descriptive statistics, and correlation analysis between enabling technologies and the product development process. In the qualitative phase, evaluations were conducted through semi-structured interviews - three interviews in version one of the artifact with academic experts and two interviews in version two of the artifact with two product development professionals. Improvements were suggested during the qualitative evaluation, which were subsequently corrected and evolved into version three of the artifact, named EXPDP. The EXPDP aims to integrate Industry 4.0 enabling technologies through the Stage-gate approach. The research proposed the integration of ten activity protocols in the Stage-gate method to develop a Smart product/service model. The combination of bibliometrics and integrative systematic review allowed for identifying research gaps and obtaining a comprehensive view of the current state of knowledge in the field. The assessment of the importance of Industry 4.0 in the metal-mechanic sector and the measurement of Industry 4.0 maturity were addressed, highlighting challenges and improvement opportunities. The developed artifacts showed that the proposed tool meets the identified demands, with the potential for future enhancements.

**Keywords:** Industry 4.0, Stage-gate, Product development, Design Science Research



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Países que mais publicaram sobre o termo “indústria 4.0” .....	24
Figura 2 - Países que mais publicaram sobre o termo “ <i>Stage-gate</i> ” .....	24
Figura 3 - Nuvem de palavras chaves dos 165 artigos .....	25
Figura 4 - Revoluções Industriais .....	30
Figura 5 - Tecnologias habilitadoras da I4.0 .....	32
Figura 6 - <i>Microsoft HoloLens</i> e sua aplicação .....	33
Figura 7 - Mapa mental dos itens que houve melhoria com a implantação do Iot no estudo de Ben-Daya, Hassini e Bahroun. (2017).....	37
Figura 8 - Intercâmbios de um sistema ERP .....	40
Figura 9 - Manufatura aditiva.....	42
Figura 10 – Simulação robótica.....	44
Figura 11 - Robô autônomo de serviço logístico.....	45
Figura 12 - Resumo sintetizado dos 6 atributos utilizados no big data .....	47
Figura 13 - Interconexão entre ambiente digital e ambiente físico .....	49
Figura 14 - Processo de revisão sistemática integrativa de literatura.....	51
Figura 15 - Modelo do processo <i>Stage-gate</i> .....	55
Figura 16 - Três versões do método <i>Stage-gate</i> .....	60
Figura 17 - Processo de revisão sistemática integrativa de literatura sobre I4.0 e métodos similares ao modelo <i>Stage-gate</i> .....	62
Figura 18 - Perspectiva da indústria 4.0 .....	63
Figura 19 - Modulo pêndulo para construção da pesquisa DSR .....	65
Figura 20 - Processo de mapeamento de construção da tese .....	68
Figura 21 - Esquema conceitual do problema principal e subproblemas da pesquisa .....	72
Figura 22 - Equação da correlação de Person.....	78
Figura 23 - Média de importância da realidade aumentada.....	92
Figura 24 - Média de importância da segurança da informação.....	93
Figura 25 - Média de importância da internet das coisas .....	93
Figura 26 - Média de importância da computação em nuvem .....	94
Figura 27 - Média de importância dos sistemas integrados .....	94
Figura 28 - Média de importância da manufatura aditiva .....	95
Figura 29 - Média de importância da simulação .....	95

Figura 30 - Média de importância dos robôs autônomos .....	96
Figura 31 - Média de importância do Big Data .....	96
Figura 32 - Média de importância dos gêmeos digitais .....	97
Figura 33 - Utilização das tecnologias habilitadoras da I4.0 .....	114
Figura 34 - Média da variável modelo de referência .....	114
Figura 35 - Média da variável satisfação do cliente .....	115
Figura 36 - Média da variável prazo de entrega .....	115
Figura 37 - Média da variável desenvolvimento das capacidades técnicas de cada profissional de desenvolvimento de produto .....	116
Figura 38 - Média da variável integração entre as áreas: comercial, manufatura, engenharia, qualidade e a área de desenvolvimento de produtos .....	116
Figura 39 - Frequência da variável funcionalidades presentes nos seus produtos .....	117
Figura 40 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) da realidade aumentada. ....	119
Figura 41 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de segurança da informação .....	120
Figura 42 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de Internet das Coisas .....	121
Figura 43 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de computação em nuvem .....	122
Figura 44 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de sistemas de informação .....	123
Figura 45 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) da manufatura aditiva .....	124
Figura 46 - Correlação entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) da simulação .....	125
Figura 47 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de robôs autônomos .....	126
Figura 48 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) do Big Data .....	127
Figura 49 - Correlação de Person entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de gêmeos digitais .....	128
Figura 50 - Artefato 1 <i>EXPDP</i> .....	131
Figura 51 - Processo de análise de conteúdo e codificação .....	134

Figura 52 - Método <i>Stage-gate Full</i> com a utilização dos protocolos.....	140
Figura 53 - Método <i>Stage-gate Xpress</i> com a utilização dos protocolos .....	146
Figura 54 - Método <i>Stage-gate Lite</i> com utilização dos protocolos.....	148
Figura 55 - Artefato 2 <i>EXPDP</i> .....	1500
Figura 56 - Processo de análise de conteúdo e codificação da categoria avaliação prática de mercado .....	1534
Figura 57 - Nuvem de palavras chaves das 5 entrevistas .....	1576
Figura 58 - <i>EXPDP V3</i> final .....	160
Figura 59 - Site <i>EXPDP</i> .....	162
Figura 60 - Busca na <i>BDTD</i> com os termos “ <i>Stage-gate</i> ” AND “ <i>indústria 4.0</i> ”, com recorte a temporal.....	181
Figura 61 - Busca feita na base internacional de teses e dissertações – <i>NDLTD</i> .....	181
Figura 62 - Busca na base <i>Scopus</i> com os termos “ <i>Stage-gate</i> ” AND “ <i>industry 4.0</i> ”, de 2012 a 2022 .....	182
Figura 63 - Busca na base <i>Web of Science</i> com os termos “ <i>Stage-gate</i> ” AND “ <i>industry 4.0</i> ”, de 2012 a 2022.....	182
Figura 64 - Busca na base <i>Science Direct</i> com os termos “ <i>Stage-gate</i> ” AND “ <i>industry 4.0</i> ”, de 2012 a 2022 .....	183
Figura 65 - Busca na base <i>Sage</i> com os termos “ <i>Stage-gate</i> ” AND “ <i>industry 4.0</i> ”, de 2012 a 2022.....	183

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Critérios de busca na base de dados <i>Scopus</i> .....	22
Quadro 2 - Etapas descritivas do processo do modelo <i>Stage-gate</i> .....	56
Quadro 3 - Comparativo entre método Ágil e o método Lean para DNP. ....	61
Quadro 4 - Resumo de estudos e suas respectivas escalas de maturidade da I4.0 .....	70
Quadro 5 - Escopo geral do projeto e a integração do processo <i>Stage-gate</i> e o DSR.....	73
Quadro 6 - Apresentação dos construtos da pesquisa.....	75
Quadro 7 - Perfil dos especialistas, formação, tempo de atuação e organização que estão vinculados.....	76
Quadro 8 - Lista de especialistas acadêmicos .....	86
Quadro 9 - Lista de <i>stakeholders</i> .....	86
Quadro 10 - Método de avaliação do artefato e técnica de entrevista.....	87
Quadro 11 - Avaliação do artefato V1 .....	135
Quadro 12 - Análise SWOT da integração dos protocolos de controle com método <i>Stage-gate</i> .....	149
Quadro 13 - Avaliação do artefato V2 .....	155
Quadro 14 - Resumo dos modelos de maturidade da I4. 0.....	184
Quadro 15 - Resumo dos artigos para revisão integrativa de literatura com os termos “ <i>Stage-gate</i> ” e “indústria 4.0”.....	191

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de importância.....	80
Tabela 2 - Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de utilização.....	81
Tabela 3 - Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de PDP.....	83
Tabela 4 - Índice de confiabilidade por cada variável.....	85
Tabela 5 - Distribuição dos respondentes de acordo com o perfil das empresas.....	90
Tabela 6 - Faixa etária dos respondentes.....	90
Tabela 7 - Nível de escolaridade.....	90
Tabela 8 - Cargo dos respondentes.....	91
Tabela 9 - Tamanho de cada empresa.....	91
Tabela 10 - Tempo de atuação dos respondentes.....	91
Tabela 11 - Área de atuação dos respondentes.....	91
Tabela 12 - Análise da utilização RA.....	97
Tabela 13 - Análise da utilização segurança da informação.....	98
Tabela 14 - Análise da utilização da internet das coisas.....	99
Tabela 15 - Análise da utilização da computação em nuvem.....	101
Tabela 16 - Análise da utilização de sistemas integrados.....	102
Tabela 17 - Análise da utilização da manufatura aditiva.....	103
Tabela 18 - Análise da utilização da simulação.....	104
Tabela 19 - Análise de utilização de robôs autônomos.....	106
Tabela 20 - Análise da utilização do Big Data.....	107
Tabela 21 - Análise de utilização dos gêmeos digitais.....	109
Tabela 22 - Escala de maturidade <i>I4.0-Maturity Fabfut</i> .....	111
Tabela 22 - Perfil dos especialistas.....	132
Tabela 23 - Conteúdo gerado pelas entrevistas com os especialistas acadêmicos.....	133
Tabela 24 - Categorias <i>a priori</i> .....	133
Tabela 25 - Protocolos e atividades do <i>EXPDP</i> .....	142
Tabela 26 - Conteúdo gerado pelas entrevistas com as empresas.....	152
Tabela 27 - Categorias <i>a posteriori</i> .....	153

## LISTA DE SIGLAS

3D	Três Dimensões
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNI	Câmara Nacional da Indústria
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.
CPS	<i>Ciber Física Sistem</i>
DPN	Desenvolvimento de Novos Produtos
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
I4.0	Indústria 4.0
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBM	<i>International Business Machines</i>
IFR	<i>International Federation of Robotics</i>
IoE	<i>Internet of Everything</i>
IoT	Internet das coisas
LGPD	Lei de Proteção de Dados
NDLTD	<i>Networked Digital Library of Theses and Dissertations</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RA	Realidade Aumentada
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RIA	Associação das Indústrias Robóticas
SaaS	<i>Software as a Service</i>
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
1.1 PARADIGMA DE PESQUISA .....	19
1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	20
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA .....	21
1.3.1 Justificativa Acadêmica .....	22
1.3.2 Justificativa Prática.....	27
1.4 QUESTÃO DE PESQUISA .....	28
1.5 OBJETIVO GERAL.....	29
1.5.1 Objetivos específicos.....	29
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	29
2.1 INDÚSTRIA 4.0 EVOLUÇÃO.....	29
2.2 TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0 .....	31
2.2.1 Realidade Aumentada – (RA).....	32
2.2.2 Segurança da Informação .....	34
2.2.3 Internet das Coisas - IoT.....	36
2.2.4 Computação em Nuvem .....	38
2.2.5 Sistemas Integrados.....	40
2.2.6 Manufatura Aditiva.....	42
2.2.7 Simulação .....	43
2.2.8 Robôs Autônomos.....	44
2.2.9 <i>Big Data</i> .....	46
2.2.10 Gêmeos Digitais .....	48
2.3 MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0.....	50
2.3.1 Levantamento dos modelos de maturidade a partir da revisão integrativa de literatura.....	51
2.3.2 Modelos de maturidade no contexto da indústria 4.0 .....	52
2.4 O MÉTODO <i>STAGE-GATES</i> .....	54
2.4.1 Evolução do modelo <i>Stage-gate</i> . .....	57
2.4.2 Abordagens de desenvolvimento de produtos utilizando o método Lean em relação ao método Ágil. ....	60
2.5 LEVANTAMENTO DOS ESTUDOS RELACIONADOS A INDÚSTRIA 4.0 COM OS MODELOS SIMILARES AO MODELO <i>STAGE-GATE</i> A PARTIR DA REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA .....	61
2.5.1 Relação entre Indústria 4.0, métodos similares de DPN e o modelo <i>Stage-gate</i> .....	62
<b>3. ABORDAGEM METODOLÓGICA</b> .....	64
3.1 <i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i> – DSR COMO METODOLOGIA DE PESQUISA .....	64
3.1.1 Abordagem multi método de pesquisa .....	69
3.1.1.1 Método quantitativo de pesquisa .....	69
3.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	71
3.2.1 Conscientização do problema e definição do escopo .....	72
3.2.2 Instrumento de coleta de dados, validação e pré-teste.....	74
3.3 DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS.....	76
<b>4 PROJETO E DESENVOLVIMENTO</b> .....	77
4.1 COLETA DOS DADOS.....	77

4.2 PREPARAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS QUANTITATIVOS .....	77
4.3 TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS E OPERACIONALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS.....	79
4.3.1 Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de importância (IMP) ...	80
4.3.3 Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de processo de desenvolvimento de produto (PDP) .....	83
4.3.4 Teste de confiabilidade da escala .....	83
4.3.5 Avaliação com os especialistas e demais <i>stakeholders</i> .....	86
4.3.5 Avaliação qualitativa por meio de entrevistas .....	86
4.3.6 Tratamento dos dados qualitativos da avaliação.....	87
4.3.7 Avaliação pelas empresas.....	88
4.4 DEMONSTRAÇÃO E AVALIAÇÃO .....	89
4.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS QUANTITATIVOS .....	89
4.6 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA .....	89
4.7 IMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA I4.0 (IMP) .....	92
4.8 UTILIZAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA (RA) .....	97
4.9 UTILIZAÇÃO DA SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO (SEG INF) .....	98
4.10 UTILIZAÇÃO DA INTERNET DA COISAS (IOT) .....	99
4.11 UTILIZAÇÃO DA COMPUTAÇÃO EM NUVEM (NUV) .....	100
4.12 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS (SIST INT) .....	102
4.13 UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA (MAN AD) .....	103
4.14 UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO (SIMUL) .....	104
4.15 UTILIZAÇÃO DE ROBÔS AUTÔNOMOS (ROBÔS).....	106
4.16 UTILIZAÇÃO DO BIG DATA (BIG DATA).....	107
4.17 UTILIZAÇÃO DOS GÊMEOS DIGITAIS (GEMDIG).....	109
4.18 ESCALA DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0: DA FÁBRICA A FÁBRICA DO FUTURO .....	110
4.19 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP).....	114
4.20 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE (PDP) <i>VERSUS</i> VARIÁVEIS DE (UTL).....	117
4.21 <i>EXPDP</i> PROPOSIÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL BASEADO NA LITERATURA E NOS RESULTADOS DA FASE QUANTITATIVA DE PESQUISA DO PROTÓTIPO VERSÃO 1 .....	128
4.22 AVALIAÇÃO QUALITATIVA COM ESPECIALISTAS ACADÊMICOS.....	131
4.22.1 Categoria avaliação acadêmica .....	134
4.22.2 Categoria melhorias do artefato V1.....	136
4.22.3 Criação dos protocolos de controle, atividades, relacionado aos estágios e portões do método <i>Stage-gate Full</i> .....	139
4.22.4 Integração dos protocolos de controle com método <i>Stage-gate Xpress</i> .....	144
4.22.5 Integração dos protocolos de controle com método <i>Stage-gate Lite</i> .....	147
4.22.6 Forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da integração dos protocolos de controle ao método <i>Stage-gate</i> .....	148
4.23 PROPOSIÇÃO DO <i>EXPDP</i> ARTEFATO V2 .....	150
4.23.1 Avaliação qualitativa pelas empresas referente ao artefato V2 .....	151
4.23.2 Categoria avaliação prática de mercado .....	154
4.24 ANÁLISE GERAL DAS AVALIAÇÕES QUALITATIVAS.....	156
4.25 PROPOSIÇÃO DO <i>EXPDP</i> ARTEFATO V3 FINAL .....	158



<b>5 COMUNICAÇÃO .....</b>	<b>160</b>
<b>5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>162</b>
<b>5.2 CONTRIBUIÇÕES ACADÊMICAS E GERENCIAIS.....</b>	<b>164</b>
<b>5.3 LIMITAÇÃO DA PESQUISA .....</b>	<b>166</b>
<b>5.4 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>167</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>169</b>
<b>APÊNDICE “A” – BUSCAS FEITAS NA BDTD E NDLTD.....</b>	<b>181</b>
<b>APÊNDICE “B” – BUSCAS FEITAS NAS BASES SCOPUS E WEB OF SCIENCE ...</b>	<b>182</b>
<b>APÊNDICE “C” – BUSCAS FEITAS NAS BASES SCIENCE DIRECT E SAGE .....</b>	<b>183</b>
<b>APÊNDICE “D” - REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA SOBRE MATUREZA DA INDÚSTRIA 4.0.....</b>	<b>184</b>
<b>APÊNDICE “E” - REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA SOBRE STAGE-GATE E INDÚSTRIA 4.0.....</b>	<b>191</b>
<b>APÊNDICE “F” – QUESTIONÁRIO QUANTITATIVO 2 DE PESQUISA .....</b>	<b>201</b>
<b>APÊNDICE “G” – PROTOCOLO DA FASE QUALITATIVA DE AVALIAÇÃO DO ARTEFATO.....</b>	<b>205</b>
<b>APÊNDICE “H” INSTRUMENTO DE PESQUISA PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO ARTEFATO .....</b>	<b>206</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Presentemente, o processo industrial se torna cada vez mais “inteligente”. Isto está significando obtido graças à introdução da TI (Tecnologia da Informação) no chão de fábrica, estimulado pelo uso de uma ampla abundância de dados digitalizados, das inúmeras redes de comunicação e do crescente acréscimo no poder de processamento computacional (WAMBA *et al.*, 2015).

A história da indústria foi caracterizada pela investigação de três revoluções industriais, cada uma em seu referente conjunto histórico. Estas cogitaram, em ordem contínua, o surgimento de uma ocasião em que as tecnologias começam a preencher os afazeres humanos nas fábricas com a entrada em massa para as cidades, as fábricas começam a produzir bens dispostos em linhas de produção, logo mais dá início à produção em massa, seguida pela inserção de máquinas e equipamentos que dinamizam a produção de bens na indústria (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Todas as três revoluções industriais foram investigadas depois que ocorreram, de modo que os seus momentos foram devidamente delimitados pelos seus tempos de estabilidade e pelos atributos peculiares que cada uma delas proporcionou. No entanto, atualmente já começa a ser ressaltada a probabilidade do surgimento da chamada Quarta Revolução Industrial, ou também, Indústria 4.0. As indústrias atuais não estão inseridas de modo pleno neste novo panorama, pelo fato de não estar inteiramente estabelecido todo o seu conjunto de elementos e objetos bem definidos (SACOMANO, 2018).

Segundo Sorooshian e Panigrahl (2020), a Quarta Revolução levou a uma mudança de paradigma chamada de “revolução industrial”. As inovações tecnológicas têm afetado não exclusivamente o ambiente externo das indústrias que as produzem, mas as próprias operações de fabricação. Li *et al.*, (2021) enfatizam que as indústrias estão passando do mundo físico para o digital e a assimilação em massa de recursos ociosos socializados no mundo físico fabril necessita de uma base digitalizada e inteligente que influêncie a eficiência da produção colaborativa. Os mesmos autores relatam como o gêmeo digital é um exemplo muito realista do estado atual do processo e sua adequada performance em interconexão com sua atmosfera real física é vastamente aplicado para promover a cooperação cibernética por meio da digitalização multidimensional de recursos físicos.

A Indústria 4.0 representa a tendência atual de tecnologias de automação na indústria de manufatura, e inclui principalmente tecnologias de capacitação, como a *Ciber Physical*

*Sistem* (CPS), Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem (KUSHIDA.; MURRAY; ZYSMAN, 2011; KAGERMANN, 2015; XU; XU; LI, 2018). Diante do mencionado, a Indústria 4.0 fomenta grandes mutações e suas definições estão pulverizadas em vários periódicos científicos, acarretando conclusões com interpretações e pontos de vista variados.

A indústria 4.0 apresenta pilares tecnológicos tais como: (i) o pilar Internet da Coisas (*Internet of Things*) (KANG, 2016; XU; XU; LI, 2018);(ii) pilar *Big Data* (WAMBA *et al.*, 2015; YANG; ZHANG; FU,2022); (iii) o pilar Robótica Autônoma (CHIEW, 2012; RUIZ-SARMIENTO; GALINDO; GONZALEZ-JIMENEZ, 2015); (iv) pilar Manufatura Aditiva (BAUMERS, 2011; ATTARAN ,2017); (v) pilar Computação nas Nuvens (LI *et al.*, 2015; LEE, 2021); (iiiiii) pilar Cyber Segurança (BOSS, 2015; CVITIĆ, 2021) ; (iiiiiii) o pilar Simulação (FANG, 2012; IVANOV, 2020); (iiiiiiii) pilar Realidade Aumentada (YIM; CHU; SAUER, 2017; POUHNEH, 2021); (iiiiiii) o pilar Integração de Sistemas verticais e horizontais (AUSTIN.; BRENNAN; HUNT, 2011; HU, 2021). Também pode se acrescentar os gêmeos digitais (DING, 2019; MASUHR *et al.*, 2020).

Para que os padrões 4.0 possam ser empregados no processo produtivo, governos estão investindo em pesquisas por novas tecnologias e aprimoramento das já existentes. As máquinas já se comunicam entre si, com produtos e com o consumidor final por meio da internet. Utilizando esse novo exemplo de fábrica inteligente, pretende-se alavancar os níveis de produtividade e reduzir os custos operacionais. (FANG, 2012; SOROOSHIAN; PANIGRAHL, 2020). A necessidade de transformação digital da indústria é agora bastante inevitável (KAGERMANN, 2015). A inovação continuamente surge com um alcance de incerteza e risco, dependendo do escopo e do salto e seu choque na criação de uma nova solução inovadora (SINGH; GARG, 2021).

A transformação contínua dentro das organizações focada na Quarta Revolução Industrial (DELOITE, 2019), é estimulada pelo acesso à internet e sistemas *cyber* físicos (KUSHIDA.; MURRAY; ZYSMAN, 2011), muitas vezes mencionada como Internet Industrial ou Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013). De acordo com Hermann, Pentek e Otto, (2016) falam que junto com a Indústria 4.0 vêm os produtos e sistemas de produção com máxima complexidade, derivada para “aumentar a funcionalidade”, acrescentar a personalização dos requisitos de produto, requisitos de entrega cada vez mais eficazes, a crescente conexão de diferentes técnicas e as configurações de rápida transformação de cooperação entre empresas. Devido ao seu impacto nas empresas é fato que muitas organizações resistem para gerenciar a transformação, várias iniciativas para aprimorar e entender a Indústria 4.0 foram tomadas

atualmente (JOHANSSON *et al.*, 2020; DELOITTE, 2019; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016) e estudos suplementares são necessários (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Dentre vastas referências na literatura, um modelo bem difundido que pode ser agregado para tentar esclarecer o fenômeno da transformação digital ou Indústria 4.0 denomina-se *Stage-gates*, apresentado por Cooper (1993), muito embora, originalmente ela tenha sido arquitetada para esclarecer os Processos de Desenvolvimento de Produtos (VASCONSELOS; MARX, 2011).

O sistema *Stage-gate* original foi criado na década de 1980, com base em um estudo com “intraempreendedores” de sucesso dentro de amplas corporações, à medida que geraram novos e prósperos produtos para o mercado. Suas práticas e as lições aprendidas forneceram a base para aquele estágio inicial modelo de portão. Ao longo dos anos, o *Stage-gate* evoluiu e incorporou muitas novas práticas (COOPER, 2014).

Para sobrepujar adaptação e maturação do modelo inicial da década de 80, as carências do *gate* de estágio linear inicial os pesquisadores e empresas buscaram melhorar, pensar a velocidade, dinamismo e volatilidade aplicados nos ambientes de negócios atuais. Segundo Cooper e Summer (2016) métodos ágeis, como desenvolvimento do cliente e práticas enxutas são caracterizados por níveis mais altos de iteração, prototipagem e lançamentos de produtos como parte de um processo ininterrupto de inovação (COOPER, 2019; QIN; VAN DER RHEE, 2021).

## 1.1 PARADIGMA DE PESQUISA

O paradigma de pesquisa é fundamental para que o pesquisador possa transportar sua tese por meio de um grupo aceito de teorias e métodos (SACCOL, 2009). Tal paradigma serve especialmente para conduzir o pesquisador, de forma que este, apesar de estar observando algo incógnito, possa se amparar em métodos e teorias estabilizadas. Essas técnicas e teorias entusiasma a forma como o pesquisador administra sua observação do estudo.

Simon (2019) argumenta pela necessidade de criar uma ciência “um corpo de conhecimento rigoroso e validado” que se consagre a apoiar como construir artefatos que tenham certas propriedades desejadas – isto é, como projetá-los. Tal é uma “Ciência do Projeto”, uma *Design Science*. “Ao projeto zela o quê e como as coisas devem ser, a concepção de artefatos que realizem objetivos.” (SIMON, 2019). O paradigma de pesquisa é o *Design Science* que tem sua vertente na ciência da informação (LACERDA *et al.*, 2013).

Os fluxos naturais e objetivos podem ser especificados a uma tecnologia particular "Indústria 4.0" ou podem ser de forma genérica marcantes como "regime tecnológico", que pode ser percebido como o complexo de interações produtivas, de sociedades e disciplinas profissionais, de programas universitários de treinamento e pesquisa, e de arranjos legais e institucionais que solicitam e reduzem a mudança tecnológica ao longo das trajetórias (DOSI; NELSON, 1994).

## 1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A Deloitte Consultoria no ano de (2019) apresentou uma pesquisa sobre o paradoxo da Indústria 4.0 em 12 países: Austrália, Brasil, China, Canadá, Alemanha, Índia, Japão, México, Países Baixos, Reino Unido e Estados Unidos. Os setores abrangidos pela pesquisa foram: Aeroespacial e Defesa Automotivo, Produtos Químicos e Materiais Especializados Produção Industrial, Metais e Mineração, Petróleo, Gás, Energia e Serviços Públicos. Sua unidade de análise foram diretores de cada setor empresarial (DELOITTE, 2019).

A pesquisa recomenda que os executivos estejam cientes sobre as oportunidades que Indústria 4.0 que os diretores apreciam na transformação digital como uma forma de prevalecer-se deste benefício. Ao mesmo tempo, as aversões em diferentes áreas assinalam que os administradores não têm certeza de como chegar além, mesmo esquematizando investimentos mais expressivos no futuro das empresas. (DELOITTE, 2019).

Wang *et al.*, (2016) explicam que o termo Indústria 4.0, foi uma iniciativa estratégica proposta e adotada pelo governo alemão como parte do "*High-Tech Strategy 2020 Action Plan*"<sup>1</sup>, este plano de ação do governo antevê a conexão dos *Cyber-Physical Systems*<sup>2</sup> (CPS) para a Quarta Revolução Industrial. Liao *et al.*, (2018) listaram algumas políticas que incentivaram a Quarta Revolução Industrial: (i) "*Advanced Manufacturing Partnership*" – Estados Unidos, (2011, 2014); (ii) "*Future of Manufacturing*" - Reino Unido (FORESIGHT, 2013); (iii) "*Eleventh Malaysia Plan*" – Malaysia (*Economic Planning Unit*, 2015); (iv) "*Smart Industry*" – Suécia (2016); (v) "*Piano Nazionale Indústria 4.0*" Itália (2016).

O programa Universidades do Futuro é um projeto de aliança de conhecimento, este projeto foi financiado com o apoio da Comissão Européia na etapa 1 do programa fala em

---

<sup>1</sup> *HighTech Strategy 2020 Action Plan* - plano de ação do governo cujo objetivo é transformar ideias em projetos inovadores (produtos e serviços) fortalecendo a Alemanha como uma das principais nações industriais e exportadoras (FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH (BMBF), 2014).

<sup>2</sup> *Ciber Physical System*- Gorecky *et al.*, (2014) afirmam que CPS são relações físicas e virtuais de interações entre seres humanos e sistemas que auxiliam nos controles, minimização de falhas e maior gerenciamento.

desenvolver um plano de cooperação entre as partes interessadas relevantes para antecipar as práticas inovadoras na 4ª revolução industrial (UNIVERSITIES OF THE FUTURE, 2021).

Muitos países têm centros nacionais de pesquisa e desenvolvimento que amparam unidades de pesquisa e empresas no incremento de suas habilidades para criar e cultivar soluções baseadas em resultados da pesquisa. Os centros conferem grupos acadêmicos e cooperação empresarial para situar a economia e em benefício da sociedade. As tarefas pontuais compreendem amparar clientes na definição de projetos de pesquisa e desenvolvimento, abastecer informações sobre documentação específica de competição e ecossistema nacional apoiar atividades de pesquisa e desenvolvimento (UNIVERSITIES OF THE FUTURE, 2021).

Schumacher, Erol e Sihm (2016) forneceram um modelo de maturidade para avaliar a prontidão da Indústria 4.0 e maturidade de fabricação e resumiram vários modelos de maturidade anteriores e introduziu um novo modelo usando nove dimensões: estratégia, liderança, customização, cultura, pessoas, governança, tecnologia e produtos. Dando destaque em seu estudo para produtos desenvolvidos a partir da transformação digital.

Olhando para novos projetos (UNIVERSITIES OF THE FUTURE, 2021, QIN; VAN DER RHEE, 2021, COOPER, 2019), novos produtos (COOPER, 2014) a transformação digital busca através de (KAGERMANN *et al.*, 2013, KAGERMANN, 2015), investimentos em pesquisas em vários países (DELOITTE, 2019; LIAO *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2016) e o modelo *Stage-gate* (COOPER, 1993) se encaixa para desenvolver novos produtos ou processos. Segundo a *Stage-gate* Internacional (2021) consultoria especializada no método o modelo *Stage-gate*® é uma visão genérica do processo de ideia inicial para lançamento que aceita o gerenciamento ideal da inovação a fim de alcançar o desenvolvimento de novos produtos de configuração mais rápida, vantajosa e produtiva. Critérios de investimento de projeto rígidos são sobrepostos nas comportas para avaliá-los particularmente e multidisciplinares, a fim de aceitar decisões eficazes de continuar ou parar o projeto (STAGE-GATE INTERNACIONAL, 2022; COOPER, 1993).

No Brasil, segundo CNI (Confederação Nacional da Indústria) em 2016, entende-se que o incremento da Indústria 4.0 envolve desafios que abrangem os investimentos em equipamentos que agrupem essas tecnologias, acomodação e layouts, de processos e das formas de relacionamento entre companhias ao longo da cadeia produtiva, criação de novos produtos, novos projetos e especialidades e desenvolvimento de competências, dentre outros (CNI, 2016).

### 1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A seguir, a relevância da presente pesquisa será justificada a partir de duas dimensões: acadêmica e prática.

### 1.3.1 Justificativa Acadêmica

Para abranger e confirmar a relevância da pesquisa para a Academia foi efetivado um estudo de mapeamento da literatura. O estudo de mapeamento, segundo Petersen *et al.*, (2008), visa ministrar uma visão geral de uma apurada área de pesquisa, identificando a natureza, a quantidade de pesquisas e os resultados disponíveis (HOSSAIN; AHMED; ARAFAT, 2021). Neste caso, em regra, o pesquisador também visa apreciar as frequências de publicações ao longo do tempo para identificar convergências do tema de pesquisa.

A primeira ação foi fazer buscas na base de dados *Scopus* sobre os pilares da indústria 4.0 sendo eles: (i) o pilar Internet das Coisas (*Internet of Things*) (ii) pilar *Big Data*; (iii) o pilar Robótica Autônoma; (iv) pilar Manufatura Aditiva; (v) pilar Computação nas Nuvens; (iiiiii) pilar Cyber Segurança; (iiiiiii) o pilar Simulação; (iiiiiiii) pilar Realidade Aumentada; (iiiiiii) o pilar Integração de Sistemas verticais e horizontais com recorte temporal de 2012 a junho de 2022 com os termos em inglês e o operador booleano AND e entre aspas para cada pilar tecnológico. Para complementar as buscas na base de dados também foram utilizados o termo “Gêmeos digitais” e o termo “*Stage-gate*”. O quadro 1 apresenta os critérios de busca na base de dados *Scopus*.

Quadro 1- Critérios de busca na base de dados *Scopus*

Nº	Dimensão	Palavra-chave em inglês	Áreas do conhecimento	Anos	País	Soment e artigos	Total geral das publicações	Quantidade por área do conhecimento
1	Realidade aumentada	" <i>Augmented reality</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	9539	1130
2	Segurança da informação	" <i>Information security</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	7669	910
3	Internet das coisas	" <i>Internet of things</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	47547	2602
4	Computação em nuvem	" <i>Cloud computing</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	32523	1897
5	Sistemas integrados	" <i>Integrated systems</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	16641	450
6	Manufatura aditiva	" <i>Additive manufacturing</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	25848	959
7	Simulações	" <i>Simulations</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	1,546,026	18,214
8	Robôs autônomos	" <i>Autonomous robots</i> "	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a	todos	sim	1669	64

				2022				
9	Big data	"Big data"	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	42205	4639
10	Gêmeos digitais	"Digital twins"	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	2998	241
11	Modelos de maturidade I4.0	"Maturity" AND "Industry 4.0"	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	181	145
12	Stage-gate	"Stage-gate"	Negócios, Gestão e Contabilidade	2012 a 2022	todos	sim	200	156

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A fim de promover os procedimentos de análise, os dados coletados foram divididos em três eixos principais de artigos científicos: i) 5 mais recentes; ii) 5 mais citados; iii) 5 mais antigos. A análise das publicações diz respeito aos indicadores de atividade, que expressam a dinâmica de aceleração da área a partir da produtividade científica (CALLON; COURTIAL; PENAN, 1995).

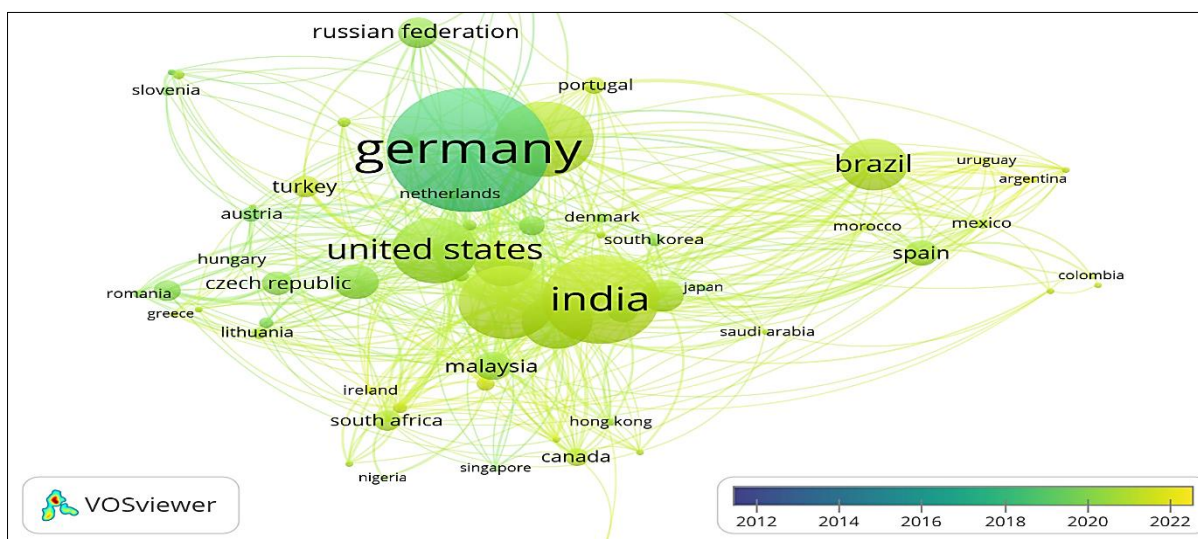
Indicadores construídos para conhecer:

1. volume de publicações por ano;
2. volume de publicações por país;
3. volume de publicações por área do conhecimento;
4. idiomas predominantes das publicações;
5. autores mais citados;
6. palavras chaves.

Com apoio *software VOSviewer* foi possível fazer uma análise dos indicadores de bibliometria. primeiro resultado do mapeamento foi analisar qual os países que têm mais publicações sobre o termo indústria 4.0. Os cinco países que mais publicaram foram os: Alemanha apresenta 322 documentos, Índia 224 documentos, Reino Unido 287 documentos e Estados Unidos 162 documentos. Para uma síntese mais apurada é apresentada a Figura 1 dos países que mais publicaram.



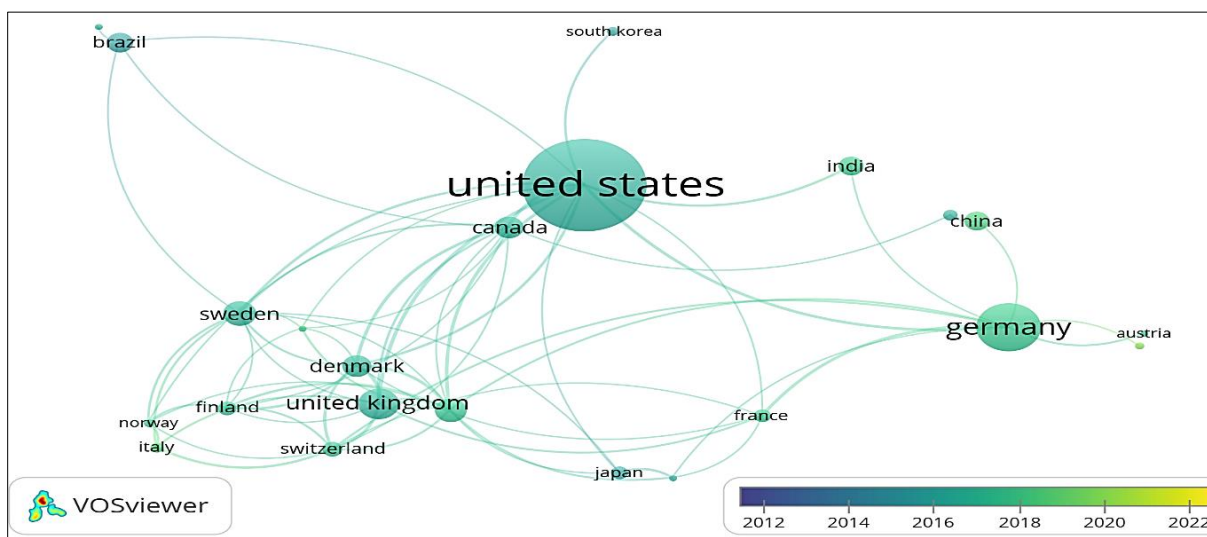
Figura 1- Países que mais publicaram sobre o termo “indústria 4.0”



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Na análise de *cluster* aplicada o Brasil possui 126 documentos. Segundo Price (1969), a cientometria é o estudo quantitativo da atividade científica e, análoga a caracterização, teve como ponto de início a percepção de que certas leis econométricas, em especial, as ligadas ao cálculo da mão-de-obra, no mundo do trabalho, poderiam explicar, ao mesmo tempo, o desempenho da literatura científica. (CALLON; COURTIAL; PENAN, 1995). O segundo resultado foi analisar os países que mais publicaram sobre o termo de pesquisa “*Stage-gate*”.

Figura 2 - Países que mais publicaram sobre o termo “*Stage-gate*”



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Os Estados Unidos possui 99 documentos, Alemanha 49 documentos, Reino Unido 30 documentos, Suécia 24 documentos, Holanda 23 documentos, Canadá 21 documentos e o Brasil possui 19 documentos. O total amostra aplicada neste projeto de tese foi de 165 artigos 15 para



2019; LIAO *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2016). Aqui se apresenta o imediatismo e justificativa desta pesquisa. As palavras chaves dos estudos também demonstram a relevância acadêmica pois podemos ver que termos análise, produto e informática que estão no centro da nuvem isto corrobora que o modelo *Stage-gate* de Cooper (1993) tem aderência com a proposta desta pesquisa. Nas extremidades externas da nuvem de palavras circundam palavras como serviço, teoria, segurança, cadeia, rede, manufatura e gestão denotando aplicabilidade do modelo *Stage-gate* em diferentes contextos organizacionais.

A próxima fase foi fazer buscas nas bases de dados de teses e dissertações realizada em outubro de 2021. A primeira foi a Biblioteca Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), quando foram adicionados os seguintes termos: “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*” com um recorte atemporal e não se encontrou nenhum documento de pesquisa conforme apresentado no **Apêndice “A”**.

Em um segundo momento, foi feita uma busca na base internacional de teses e dissertações *Networked Digital Library of Theses and Dissertations* (NDLTD), sendo adicionados os seguintes termos entre aspas e o operador booleano AND em letras maiúsculas e no idioma inglês e com um recorte a temporal: “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*” onde foi encontrado 1 documento. O documento foi uma dissertação do autor You-Jie Huang (2019) com o título *Nail Fashion 4.0 Discussão sobre Desenvolvimento de Modelos de Negócios do centro de Ciência da Informação da Universidade de Yuan Ze, Taiwan*. A ideia central foi o lançamento do produto, “X”, é uma máquina de impressão de unhas operada por meio de um aplicativo de *smartphone*. O plano de lançamento foi desenvolvido com base no método *Stage-gate*, usado para direcionar o caso investigado. O documento de pesquisa se encontra no **Apêndice “A”**.

Com a busca concluída nas bases BDTD e NDLTD, foi feita mais buscas agora em bases de dados de periódicos internacionais com os termos “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*” Segundo Diniz *et al.*, (2017) a busca por temas abrangentes como os de tecnologia da informação e comunicação se faz necessária para o estado da arte da pesquisa em administração. A primeira base foi a própria *Scopus* sem filtros por área de conhecimento e com recorte nos últimos 10 anos, onde resultou em 2 documentos assim demonstrado no **Apêndice “B”**. A Segunda base de dados foi a base *Web of Science* nesta base foi invertido os termos de busca em inglês “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*” em todas as áreas do conhecimento e nos últimos 10 anos. Nos resultados também apresentou somente 3 documentos assim apresentados no **Apêndice “B”**.

A terceira base de dados a se consultar foi a base *Science Direct* com os termos de busca em inglês “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”, em todas as áreas do conhecimento e conhecimento nos últimos 10 anos. Esta base apresentou 28 documentos, assim demonstrado no Apêndice “C”. A última base foi a *Sage* com os termos de busca em inglês “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”, aqui foi adicionado o filtro da área de *Economics, Finance, Business & Industry*, com recorte de 2012 até junho de 2022 e não apresentou nenhum documento, assim demonstrado no **Apêndice “C”**. Interessante que no total foram encontrados 35 documentos artigos nos últimos 10 anos falando sobre os termos “Indústria “*Stage-gate*” e “*industry 4.0*”.

Para justificar a inversão da string de busca combinações como: “*industry 4.0*” AND “*Stage-gate*”; “*Industry 4.0*” AND “*Stage-gate*”; “*Stage-gate*” AND “*Industry 4.0*” e “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*” se justifica por ser um projeto de tese e que nem todas as fontes de conhecimento foram esgotadas (DINIZ *et al.*, 2017; PRICE, 1969). A *string* serve para executar a sua pesquisa por literatura de interesse e unificar os procedimentos de busca em diversas bases do conhecimento e restringir ou ampliar o que se deseja buscar. Relativo à identificação das palavras-chave, define-se que a *string* da bibliometria ou revisão sistemática de literatura, é gerada a partir da combinação dos termos das palavras-chave e seus sinônimos usando os operadores lógicos OR e AND.

Com o mapeamento geral literatura pesquisada amparada por Diniz *et al.*, (2017), Callon, Courtial e Penan, (1995), Price, (1969) percebe-se que a metodologia do *Stage-gate* (COOPER, 1993) e a indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013) é pujante e polivalente, sendo capaz de ser aplicada aos mais diferentes setores. Seu caráter versátil permite conectar-se em diferentes organizações.

### 1.3.2 Justificativa Prática

Ao observar alguns dados atualizados divulgados pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), chama muito a atenção em 2020 onde o Produto Interno Bruto - PIB do Brasil em 2020, por exemplo, foi de R \$7,4 trilhões (IBGE, 2021). Segundo a Câmara Nacional da Indústria, a participação do Brasil na produção industrial mundial caiu para 1,19%, em 2019, atingindo o piso da série que começou em 1990. A performance das exportações da indústria brasileira no mundo também ilustra a perda de competitividade do Brasil. Em 2019, a participação do Brasil nas exportações mundiais da indústria de transformação deve cair para 0,82%, coincidindo o menor valor da série histórica, registrado em 1999 (CNI, 2021). A

indústria brasileira encontra-se atrasada na adoção de tecnologias e métodos produtivos (BORINI, 2018).

O Brasil é o penúltimo colocado no *ranking* geral da Competitividade, entre 18 economias escolhidas, à frente apenas da Argentina. O Chile e o México, outros dois casos de países latino-americanos, ocupam a 8ª e 12ª posição, concomitantemente. A Coreia do Sul é a economia mais competitiva. Em 2019, o Brasil anotou, pelo segundo ano sucessivo, redução de complicações para a abertura de empresas, entre outros avanços (CNI, 2021).

Pesquisa da CNI em (2016) revela que a informação da indústria brasileira sobre tecnologias digitais e a sua inclusão à produção, pré-condições para o avanço da Indústria 4.0, ainda é pouco difundido: 42% das empresas ignoram a estima das tecnologias digitais para a concorrência da indústria e mais da metade delas (52%) não empregam nenhuma tecnologia digital de uma lista com 10 opções. O perfil da amostra foi de 2.225 empresas sendo: 910 pequenas, 815 médias e 500 grandes. De 29 setores da Indústria de Transformação e Extrativa. Período de coleta: 4 a 13 de janeiro de 2016 (CNI, 2016).

Os aumentos tecnológicos que culminaram nas transformações digitais que temos ressaltado com a “Indústria 4.0” também têm amparado a viabilizar o emprego dos recursos computacionais para o desenvolvimento de competências. Tais recursos computacionais podem ensaiar a concepção de ambientes virtuais de aprendizado (ROSSI FILHO, 2021; UNIVERSITIES OF THE FUTURE, 2021, DELOITTE, 2019). A própria pesquisa da Deloitte (2019) fala dos benefícios da implementação da transformação digital e como alguns gestores não têm pleno conhecimento destas tecnologias (ZAPATA *et al.*, 2020).

A Indústria 4.0 é a quarta revolução industrial, que combina tecnologias avançadas como inteligência artificial, IoT, robótica, realidade aumentada e impressão 3D para aprimorar os processos industriais. O modelo de *Stage-Gate* é uma estrutura de gerenciamento de projetos que divide o processo de desenvolvimento em fases. A estratégia envolve a definição de objetivos a longo prazo, enquanto a operação envolve a execução de tarefas para alcançar esses objetivos. Assim, a Indústria 4.0 e o modelo *Stage-Gate* fornecem elementos acadêmicos e práticos para a linha de pesquisa de estratégias e operações.

#### 1.4 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão norteadora do presente projeto é: Como desenvolver um Produto-Serviço integrando as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 por meio da abordagem de *Stage-gate*?

## 1.5 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um modelo de produto/serviço *Smart* aplicando o método *Stage-gate*.

### 1.5.1 Objetivos específicos

- a) Identificar os pré-requisitos técnicos de importância e utilização das tecnologias habilitadoras da I4.0 para aplicação da abordagem de *Stage-gate*;
- b) Desenvolver uma escala para mensurar a importância e utilização das tecnologias habilitadoras da I4.0 e integrar ao modelo *Stage-gate*;
- c) Descrever a correlação entre as tecnologias habilitadoras da I4.0 com o processo de desenvolvimento de produto;
- d) Construir um artefato para contribuir no processo de desenvolvimento de produto/serviço a partir do método *Stage-gate*.
- e) Validar o artefato para contribuir no processo de desenvolvimento de produto/serviço a partir do método *Stage-gate*.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

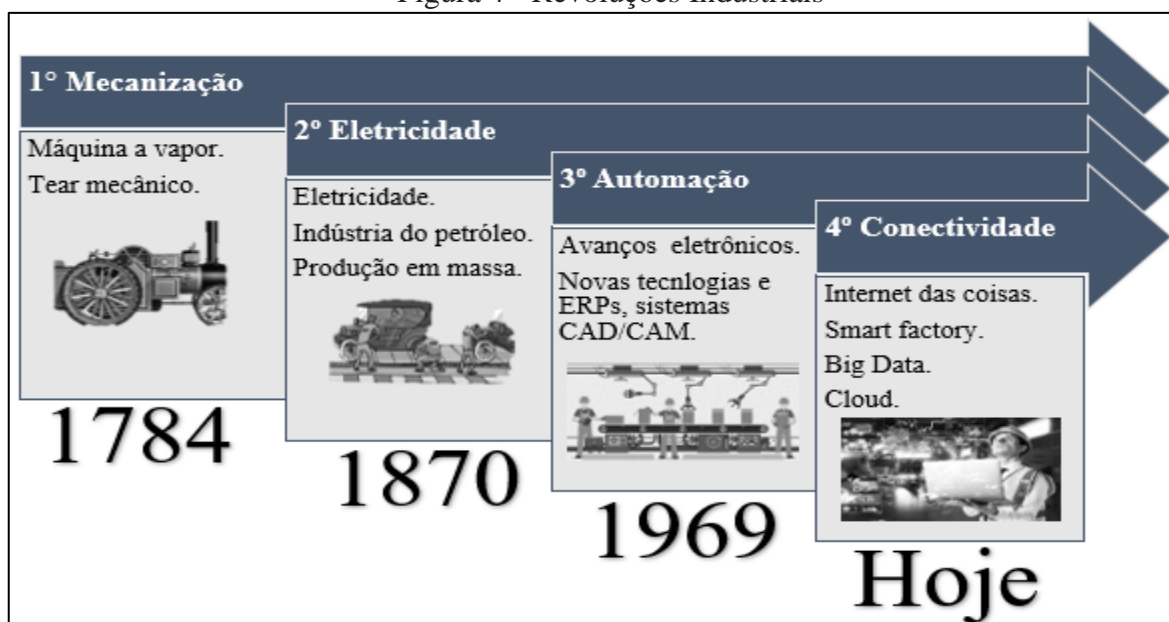
### 2.1 INDÚSTRIA 4.0 EVOLUÇÃO

O setor industrial exerce impacto em diversos setores da economia e sobre todo o ambiente institucional e social. Marson (2014) afirma que de acordo com a história a indústria foi o fator de utilização mais influente da aceleração do desenvolvimento econômico por causa da utilização de tecnologias e ganhos de escala. O setor industrial continuamente foi decisivo para o desenvolvimento econômico dos países. Desde o final do séc. XVIII, a indústria tem calhado por modificações que rebelaram a maneira como os produtos são fabricados e ocasionaram vários benefícios, de maneira especial no que tange o acréscimo da produtividade.

A primeira Revolução Industrial foi distinta pela mudança do trabalho manual para máquinas mantidas a vapor. No início do século XX, com a introdução da eletricidade nos sistemas produtivos, inicia-se a Segunda Revolução Industrial, qualificada pela produção em massa e divisão do trabalho. A terceira revolução, que vai da década de 1970 até os dias atuais,

é caracterizada pelo uso da eletrônica e tecnologia da informação e comunicação (TIC) para aperfeiçoar a automação na produção (SACOMANO *et al.*, 2018). A combinação de tecnologias avançadas e internet está ao mesmo tempo transformando o cenário industrial e está sendo chamada de 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013). A Figura 4 proporciona um resumo das quatro Revoluções Industriais.

Figura 4 - Revoluções Industriais



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A Indústria 4.0 nasceu como uma estratégia de longo prazo do governo alemão, que foi adotada como parte do *High-Tech Strategy 2020 Action Plan*, em 2011 (KAGERMANN *et al.*, 2013), para garantir a competitividade da sua indústria. Em 2013, o Ministério Alemão da Educação e da Investigação cria um grupo de trabalho composto por representantes da indústria, do mundo acadêmico e da ciência com o objetivo de promover a pesquisa e a inovação e acelerar o processo de transferência de resultados científicos para o incremento de tecnologias (SACOMANO, 2018; KAGERMANN *et al.*, 2013).

A Convergência desse novo padrão industrial baseia-se como a forma de delinear a convergência da digitalização e automação do ambiente de manufatura (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). De acordo com Silveira (2017) o alicerce básico da Indústria 4.0 é de que conectando máquinas, sistemas e ativos, as organizações podem criar redes inteligentes e assim controlar os ambientes de produção com uma configuração autônoma e digitalizada.

Alguns países têm iniciativas análogas além disso, podem ser encontradas sob as mais diversas designações, por exemplo, *Cyber Physical System (CPS)*, *Smart Factory*, *Smart Production*, *Machine to Machine (M2M)*, *Advanced Manufacturing*, *Internet of Things (IoT)*,

*Internet of Everything (IoE) ou Industrial Internet* (KAGERMANN *et al.*, 2013). Segundo a Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial (2019), esta revolução possui cinco pilares: Biologia Sintética, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Manufatura Aditiva e Sistemas Ciberfísicos.

O surgimento deste novo modelo de indústria, as empresas têm buscado maneiras de implantar conceitos e práticas correspondentes dentro de seus processos produtivos, de modo a suprir o aumento da demanda, por parte dos clientes e do próprio mercado, da utilização de suas tecnologias habilitadoras, tal utilização aumenta o potencial econômico e territorial (CORO *et al.*, 2021).

De forma mais ampla, os componentes de tecnologia da Indústria 4.0 aumentam os critérios de desempenho organizacional, como lucratividade, vendas, quantidade de produção, quantidade de produção per capita, taxa de utilização da capacidade, velocidade de produção, qualidade do produto e podem levar a reduções significativas nos custos de produção, outro fator que contribui é a questão das competências que influencia positivamente a questão econômica e social da implantação da transformação digital ou “I 4.0” (LEE; NOR; ISMAIL, 2021).

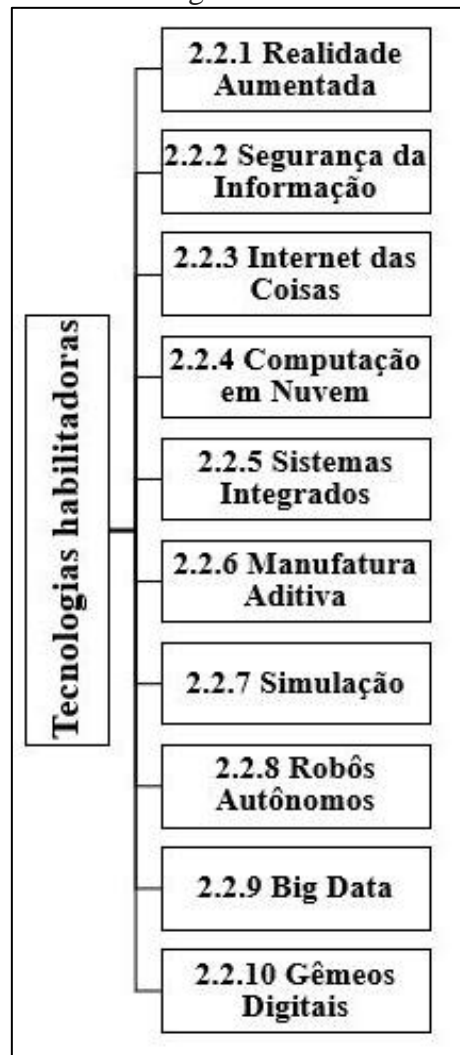
## 2.2 TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA INDÚSTRIA 4.0

As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 são tecnologias que desempenham um papel fundamental na transformação digital da indústria e permitem a implementação de processos e sistemas avançados (LEE; NOR; ISMAIL, 2021). Segundo Kagermann *et al.*, (2013) essas tecnologias incluem robôs autônomos, internet das coisas (IoT), inteligência artificial e aprendizado de máquina, manufatura aditiva (impressão 3D), realidade aumentada, simulação digital e integração de sistemas horizontal e vertical.

Estas tecnologias são capazes de conduzir a mudanças radicais na capacidade de produção, produtos e processos da indústria, permitindo maior eficiência, velocidade e personalização, bem como um novo nível de flexibilidade e adaptação. Em resumo, as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 são o conjunto de tecnologias que permitem a transformação digital na empresa. A Figura 5 mostra as principais tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 abordada neste capítulo.



Figura 5 - Tecnologias habilitadoras da I4.0



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

### 2.2.1 Realidade Aumentada – (RA)

Milgram e Kishino (1994) definem a realidade aumentada (RA) como um subconjunto que está centrado dentro de um ambiente virtual (PIEKARSKI; THOMAS, 2002). Podemos ver aplicações de (RA) no estudo de Kim e Choo (2021) e tem como objetivo averiguar a efeito da informação do produto (atributos utilitários vs. Atributos hedônicos) e a presença nos consumidores avaliação de produtos por (RA). Os autores relatam que as informações de atributos do produto e a presença em (RA) afetam a avaliação do produto por mediação de imagens, preenchimento de informações e característica psicológica.

No atual período, vivenciamos um enriquecimento da (RA), que proporciona o seu uso, promovido através de *smartphone*, empregando a própria câmera do aparelho. Um exemplo do uso da (RA) com *smartphone*, pode ser visto em Junior *et al.*, (2020) onde foi desenvolvido, e feito o aproveitando de conceitos da disciplina instalações elétricas, projetos de objetos tridimensionais sobre planos reais que podem ser visualizados na tela do *smartphone*. Utiliza-se hardwares como óculos de (RA) na indústria automobilística, como por exemplo, o *Microsoft HoloLens* que é apresentado como um “computador holográfico”. Funciona sem os fios, empregando sensores avançados, em um sistema de última geração com um chip, e a adição de uma unidade de processamento holográfico (*Holographic Processing*).

Figura 6 - *Microsoft HoloLens* e sua aplicação



Fonte: *Microsoft* (2022).

Há também um sistema de áudio, que reporta os sons holograficamente no ambiente, de forma altamente imersiva, podendo simular o som que vem, até mesmo das costas do usuário. Os hologramas produzidos pelo sistema têm alta definição, podendo ser empregados para a gestão de projetos arquitetônicos, *design* de produtos, medicina, automação etc. (MICROSOFT, 2021).

Häfner e Michels (2022) em seu estudo propuseram um sistema que combina realidade virtual, métodos de engenharia virtual e inteligência artificial para o processo de desenvolvimento de produtos. Algoritmos de análise geométrica são usados para processar dados provenientes do CAD mecânico, o que permite, por exemplo, que as simulações cinemáticas sejam parametrizadas automaticamente. Quando combinada com os dados CAD elétrico e as simulações de circuitos elétricos, bem como o programa original da máquina, esta abordagem permite simular o comportamento da máquina e a interação do usuário com ela. (LIU, 2023; SEELIGER; CHENG; NETLAND, 2023).

Algumas tecnologias que utilizam a realidade aumentada incluem:

- a. Aplicativos de compras: diversos aplicativos de compras utilizam a tecnologia de realidade aumentada para permitir que os usuários vejam como determinados produtos ficariam em suas casas, escritórios ou em qualquer outro lugar antes de fazerem a compra.
- b. Jogos: vários jogos para dispositivos móveis e consoles de videogame também utilizam a realidade aumentada para criar experiências imersivas para os jogadores, misturando cenários virtuais com objetos e personagens em ambientes reais.
- c. Educação: a realidade aumentada também tem um grande potencial na educação, permitindo que os alunos interajam com objetos virtuais em tempo real para visualizar e compreender melhor conceitos complexos.
- d. Publicidade: as empresas também estão utilizando a realidade aumentada em suas campanhas publicitárias para criar experiências de engajamento mais envolventes e imersivas para o público-alvo.
- e. Saúde: a realidade aumentada também está sendo utilizada em diversas aplicações na área de saúde, como em simulações cirúrgicas para treinamento de médicos, por exemplo.

A realidade aumentada (RA) é uma tecnologia emergente que tem o potencial de revolucionar a forma como interagimos com o mundo ao nosso redor. A RA combina elementos do mundo real com elementos virtuais, criando uma experiência imersiva e envolvente.

### **2.2.2 Segurança da Informação**

A interligação de dados e informações entre todos os setores da indústria carece de muita segurança, significando esta uma das principais inquietações e desafios da Indústria 4.0. Com o uso de novas tecnologias e informações disponibilizadas em nuvem para o possível acesso entre os empregados e melhoria dos processos, a força dos sistemas de informação se tornou um empecilho na atual perspectiva. Então modelos para avaliar o risco de falha e a disponibilidade de uma rede de informações devido a ataques que exploram vulnerabilidades de *softwares* são indispensáveis (CHEN; KATARIA; KRISHNAN, 2011).

Koltays, Konev e Shelupanov (2021), aplicaram um modelo matemático para avaliar os riscos de confiabilidade de uma contraparte no contexto da transformação digital da economia, o que, por sua vez, reduzirá o risco de ofensas e crimes que compõem ameaças à segurança das organizações.

Conforme Vance, Siponen e Pahlila (2012), todo o sistema de segurança da informação objetiva atenuar os riscos que os imprevistos de segurança da informação possam representar para a organização. O risco é baseado em dois principais pilares: a probabilidade de acontecimentos do incidente e o impacto que o incidente originou para a organização. Os autores indicam treinamentos para minimizar estes impactos para as organizações (WU *et al.* 2023).

No Brasil conforme Assis e Mendes (2020), foi regulamentada a LGPD<sup>3</sup> - 2018 regulamenta o modo como as informações pessoais de cada indivíduo precisarão receber tratamento pelas companhias privadas ou públicas, independentemente do meio, do país de sua sede ou do país onde permanecem localizados os dados pessoais. Por isso, não importa qual o segmento do negócio, se trata de dados individuais de clientes, logo a companhia terá que se adaptar à legislação.

Vance, Siponen e Pahlila (2012), revelam que a área da tecnologia da informação é, na maior parte dos casos, aquela que começa o processo de implantação de um sistema de gestão de segurança da informação, pois é a área mais afetada pelas normas de segurança, e quem sabe a que tenha maior consciência da precisão de um sistema de segurança que avalize as informações que ele gerencia (ASSIS; MELO, 2020; LI; XIAO; ZHANG, 2023).

Algumas tecnologias que utilizam segurança da informação incluem:

- a. Criptografia: permite a proteção de informações contra o acesso não autorizado, utilizando a transformação de informações em um formato codificado, de difícil leitura.
- b. Firewalls: utilizados para proteger a rede de computadores contra possíveis ataques externos, controlando o acesso aos recursos da rede e bloqueando tráfego não autorizado.
- c. Antivírus: programas que detectam e removem arquivos maliciosos, como vírus, nos dispositivos e *softwares* utilizados pelas empresas.
- d. Sistemas de Gestão de Identidade e Acesso: permitem a criação de perfis de usuários e o gerenciamento de suas permissões, a fim de prevenir que pessoas não autorizadas acessem informações confidenciais.

---

<sup>3</sup> LGPD – Lei de Proteção de Dados. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm)>. Acesso em: 15, nov, 2021.

- e. **Análise de Segurança em Tempo Real:** utiliza algoritmos e inteligência artificial para detectar possíveis ameaças à segurança que possam estar ocorrendo em tempo real.

A segurança da informação é uma questão fundamental para a Indústria 4.0. As empresas que investirem em medidas de segurança eficazes estarão mais preparadas para enfrentar as ameaças cibernéticas e proteger suas informações.

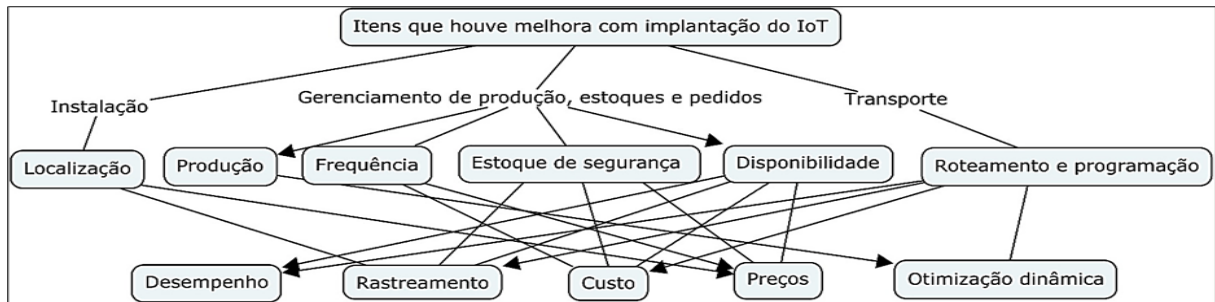
### 2.2.3 Internet das Coisas - IoT

O conceito de Internet das coisas foi adotado pela primeira vez por Kevin Ashton, no início de 1999. No período, Ashton, organizou uma apresentação a executivos da Procter & Gamble recomendando a ideia de se rotular eletronicamente os produtos da empresa, a fim de facilitar a logística da cadeia de produção com apontadores equipados com Rádio Frequência (RFID). Naquela época, tratava-se de uma inovação e que modificaria o rumo das novas convergências dos estudos pertinentes à conectividade (DELOITTE, 2018).

Os dispositivos que podem se comunicar com a internet de forma a partilhar e ganhar informações. Esses dispositivos, tais como *smartphones*, sensores, tablets, computadores pessoais podem além disso comunicar-se entre si utilizando a internet, e outras formas como o RFID (*Radio Frequency Identification*) - Identificação por Radiofrequência, códigos de barra, NFC (*Near Field Communication*), Cédula de identidade por aproximação, entre outros (XU, 2011).

Ben-Daya, Hassini e Bahroun (2017) relatam o impacto potencial da IoT nas decisões e modelos da cadeia de suprimentos. Os estudos estão concentrados na localização e capacidade das instalações da cadeia de suprimentos; na produção, frequência, estoque de segurança e eficácia no gerenciamento de pedidos, roteamento e programação do transporte. Tal análise mostra como a IoT altera o desempenho da gestão da cadeia de suprimentos, melhora no rastreamento, reduz os custos e otimiza de modo dinâmico. Pode-se ver na Figura 7, os itens que houve melhora com a implantação do IoT da cadeia de suprimentos.

Figura 7 - Mapa mental dos itens que houve melhoria com a implantação do Iot no estudo de Ben-Daya, Hassini e Bahroun. (2017)



Fonte: adaptado de Ben-Daya; Hassini; Bahroun. (2017)

As tecnologias inovadoras resultam em maior velocidade de lançamento no mercado, precisão no produto, produção personalizada conforme exigido pelo cliente e maior eficiência geral, como demonstrado na Figura 6 os itens: desempenho, rastreamento, custo, preços e otimização dinâmica forma resultados da implantação do IoT da cadeia de suprimentos (BEN-DAYA; HASSINI; BAHROUN, 2017) com tudo a implantação em outras áreas também acarreta melhorias (DELOITTE, 2018).

Existem várias tecnologias aplicadas em IoT (Internet das Coisas) que são utilizadas para conectar e controlar dispositivos (CAO *et al.*, 2023). Algumas delas incluem:

- a. Rede de Sensores Sem Fio: é uma tecnologia de comunicação sem fio que permite a coleta de dados dos dispositivos IoT.
- b. Bluetooth: é uma tecnologia de comunicação sem fio que permite que os dispositivos IoT sejam conectados a smartphones, tablets e outros dispositivos eletrônicos.
- c. Wi-Fi: tecnologia de rede sem fio usada para conectar dispositivos IoT a redes domésticas e corporativas.
- d. Protocolo de Comunicação MQTT: é um protocolo de mensagens de publicação/assinatura que permite a comunicação entre dispositivos IoT com baixo consumo de energia.
- e. Protocolo de Comunicação ZigBee: é uma tecnologia de comunicação de curto alcance usada para conectar dispositivos IoT em redes de baixa velocidade.
- f. Tecnologia RFID: é uma tecnologia usada para identificação de objetos e para o controle de estoque, segurança e localização de objetos.

Essas são apenas algumas das tecnologias utilizadas em IoT, e novas tecnologias estão sendo desenvolvidas constantemente para melhorar a eficiência e desempenho dos dispositivos,

bem como a segurança dos dados coletados. O uso dessas tecnologias permite que os dispositivos IoT possam ser monitorados e controlados remotamente, permitindo a automatização de muitos processos e aumentando a produtividade e eficiência em diversos setores (ELSISI; AMER; SU, 2023).

#### 2.2.4 Computação em Nuvem

Na literatura, existem diversas definições para a computação em nuvem, principalmente por ser uma tecnologia em constante crescimento e mudança. A definição considerada neste documento é a do *National Institute of Standards and Technology* (NIST). A computação em nuvem é um modelo que permite o acesso conveniente e sob demanda a um local de trabalho que é um pool compartilhado de recursos computacionais (KUSHIDA; MURRAY; ZYSMAN, 2011).

*Cloud Computing* é um modelo designado para permitir o acesso ubíquo e aceitável, por meio de uma infraestrutura de rede, a um conjunto de recursos computacionais compartilhados que podem ser rapidamente provisionados e desprendidos com o menor esforço, e de interação por parte do usuário, pelo fornecedor de serviços (LI *et al.*, 2015). Lee (2021), desenvolveu uma solução analítica de forma fechada para prestação de serviço derivada de um problema de preços e apresenta análises de sensibilidade para fornecer informações valiosas sobre a dinâmica de preços e negociação entre o provedor SaaS<sup>4</sup> e provedor IaaS<sup>5</sup>. O estudo apresentou três implicações para os provedores de internet:

- a) Os provedores de nuvem carecem entender interações complexas entre custos e preços de várias categorias de serviço;
- b) Provedores de SaaS precisam decidir atenciosamente o peso do escalonamento automático entre o interesse sob demanda e o interesse local. Eles carecem medir as interações complexas entre o preço sob demanda, o preço à vista e a taxa de interrupção dos interesses à vista;

---

<sup>4</sup> SaaS, ou *Software as a Service*, é uma forma de disponibilizar softwares e soluções de tecnologia por meio da internet, como um serviço.

<sup>5</sup> A camada mais fundamental da computação em nuvem é a IaaS, sigla para Infraestrutura como Serviço, que oferece os recursos de armazenamento, rede e computação necessários para o ambiente corporativo.

- c) Os insights adquiridos com este modelo de decisão do jogo *Stackelberg*.<sup>6</sup> Além disso, podem ser usados para negociação de reduções por volume com o provedor de SaaS (LEE, 2021).

Essa qualidade deixa ao provedor agrupar os recursos computacionais para servir a múltiplos clientes ao mesmo tempo, em um modelo multicliente, oferecendo numerosos recursos físicos e virtuais que são de modo dinâmico conferidos de acordo com a demanda. O usuário normalmente não tem autoridade nem ciência do exato local de onde se originam esses recursos, mas tem probabilidade de avaliar sua localização, como por exemplo, saber o país, o estado ou o núcleo de dados (IBM, 2021; ZHANG *et al.*, 2022).

Algumas tecnologias que utilizam computação em nuvem incluem:

- a. Armazenamento em nuvem: serviços como Dropbox, Google Drive e Microsoft OneDrive permitem que os usuários armazenem seus arquivos em servidores de nuvem, permitindo acesso a esses arquivos de qualquer lugar com uma conexão à internet.
- b. Infraestrutura como serviço (IaaS): serviços como *Amazon Web Services* (AWS), *Google Cloud Platform* e *Microsoft Azure* permitem que empresas aloquem uma infraestrutura de computação na nuvem que inclui servidores, armazenamento e rede, em vez de comprar e manter seus próprios data centers.
- c. Plataforma como serviço (PaaS): serviços como *Heroku*, *Google App Engine* e *Microsoft Azure* oferecem uma plataforma completa de desenvolvimento e execução de aplicativos na nuvem, eliminando a necessidade de as empresas gerenciarem sua própria infraestrutura de servidores.
- d. Software como serviço (SaaS): serviços como *Salesforce*, *Office 365* e *Adobe Creative Cloud* permitem que os usuários acessem software hospedado em servidores em nuvem, em vez de instalar o software em seus próprios computadores.
- e. Computação sem servidor (serverless): serviços como *AWS Lambda*, *Google Cloud Functions* e *Microsoft Azure Functions* permitem que as empresas executem código em nuvem sem a necessidade de gerenciar servidores. O provedor de nuvem gerencia a infraestrutura subjacente para executar o código e cobra apenas pelo tempo de execução.

---

<sup>6</sup> O modelo de *Stackelberg* mostra como é o equilíbrio em um mercado oligopolista de produtos homogêneos com uma empresa como líder. O modelo se propõe a mostrar qual será a quantidade produzida por cada empresa nesse mercado, dado que uma escolhe primeiro a quantidade que irá produzir.



Essas são apenas algumas das tecnologias que usam computação em nuvem. Cada vez mais empresas estão migrando para a nuvem para aproveitar seus benefícios em relação à escalabilidade, flexibilidade, acessibilidade e custos reduzidos (TIAN *et al.*, 2023).

### 2.2.5 Sistemas Integrados

A integração horizontal está conectada com a vinculação entre a fábrica e todo ecossistema empresarial de um empreendimento. A integração vertical relaciona que todos os níveis fabris estejam interconectados com alta cúpula executiva do empreendimento empresarial (KAGERMANN, 2015).

Segundo Oztemel e Gursev (2020), os *softwares* que auxiliam as empresas a agrupar todas as informações dos processos executados em uma organização, podendo ser feita desde a gestão de estoques imobilizado pelo setor de aquisições, até os produtos consumidos pelo setor de vendas. A utilização de um ERP exemplificando, é essencialmente a entrada de parâmetros no início de um processo, e a seguir de sua execução são decompostos em informações para serem processadas em diferentes esferas da empresa.

Na Figura 7 são proporcionados os intercâmbios dos sistemas ERPs com a Indústria 4.0. Ressalta-se que nessa Figura 7 todos os elementos para cima da linha vermelha, são sistemas que atuam de forma interligada e, por conseguinte, para o funcionamento apropriado, são artefatos abastecidos com tecnologias de comunicação da Indústria 4.0.

Figura 8 - Intercâmbios de um sistema ERP



Fonte: Oztemel e Gursev (2018)

Sistemas integrados e eficientes, agregam resultados de múltiplos valores convertendo-os em uma harmonia de resultado pode ser útil para alcançar desempenhos excepcionais. Os gerentes podem considerar as implicações potenciais da fórmula olhando para futuras políticas direcionadas para melhorar a administração subsidiária e fortalecer em geral a governança corporativa na integração de sistemas (HU *et al.*, 2021; ZHAO *et al.*, 2023).

Saric *et al.*, (2020) descreveu o processo de desenvolvimento de um sistema de projeto inteligente integrado auxiliado por computador (IICAD) para o cálculo, dimensionamento e desenvolvimento de um modelo de ponte rolante com dois suportes principais. Essa metodologia de desenvolvimento de *software* do IICAD pode ser usada para desenvolver vários outros sistemas de computador do IICAD para vários campos da engenharia. A principal contribuição para o desenvolvimento de produto é a metodologia de desenvolvimento de *software* do IICAD apresentada no estudo.

Alguns exemplos de aplicação de sistemas integrados incluem:

- a) ERP (*Enterprise Resource Planning*): utilizado para integrar diferentes áreas de uma empresa, como contabilidade, recursos humanos, produção, vendas, entre outras, permitindo o gerenciamento e compartilhamento de informações.
- b) CRM (*Customer Relationship Management*): utilizado para integrar informações do relacionamento com o cliente, permitindo o monitoramento e aprimoramento das interações com os clientes.
- c) SCM (*Supply Chain Management*): utilizado para integrar processos de logística e gestão da cadeia de suprimentos, permitindo o monitoramento e tomada de decisões para otimização dos processos.
- d) MES (*Manufacturing Execution System*): utilizado para integrar processos de produção em fábricas, permitindo o monitoramento em tempo real e tomada de decisões para aumentar a eficiência.
- e) Sistemas de gestão de projetos: utilizado para integrar processos de gestão de projetos, permitindo o compartilhamento de informações e monitoramento do status do projeto em tempo real.

A integração horizontal e vertical são dois conceitos essenciais para a Indústria 4.0. A integração horizontal permite que as empresas conectem todas as suas áreas de negócios, desde a produção até o marketing. A integração vertical permite que as empresas conectem todas as suas plantas de produção, desde a fábrica até a alta cúpula executiva.

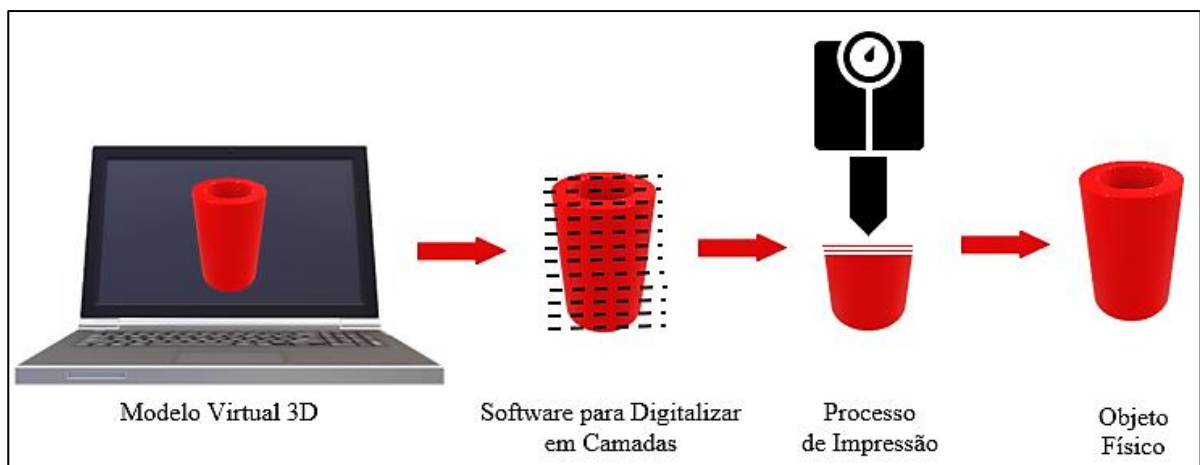
### 2.2.6 Manufatura Aditiva

A Manufatura Aditiva, primeiramente aplicada como prototipagem rápida, hoje comercialmente mais manifesta como impressão 3D (Três dimensões), é uma tecnologia que produz objetos sólidos a partir de exemplos digitais cunhados em programas CAD (*Computer-Aided Design*). Tecnologia empregada, a princípio, apenas para a concepção de protótipos (BAUMERS; TUCK; HAGUE, 2011).

Entre as décadas de 1980 e 1990, que processos de manufatura aditiva em metais, como é conhecido hoje, começaram a ser desenvolvidos. Tal episódio tornou admissível, por meio de um computador, acesso a um modelo 3D e um aparelho de deposição de material, para concepção de objetos metálicos complexos (ATTARAN, 2017).

A impressora 3D, emprega um sistema vastamente utilizado por empresas de grande porte para aquisição de modelos de exatidão dimensional elevada. Isso se deve pela sua qualidade de acabamento superficial e consiste em um reservatório onde a resina é colocada e uma base de impressão que se movimenta no eixo vertical junto a um canhão de aquecimento e projeta camada por camada do objeto a ser impresso, enquanto a base de impressão se movimenta no eixo horizontal (GISARIO *et al.*, 2019). A Figura 9 demonstra o processo de manufatura aditiva.

Figura 9 – Manufatura aditiva



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A manufatura aditiva é mais que apenas um novo processo de fabricação, pois modifica a configuração como os produtos são distribuídos, projetados, permitindo a produção de lotes pequenos, de até uma peça singular, de forma econômica, com menor desperdício, e em tempo de produção bem menor do que os processos tradicionais. Certamente, o futuro da

manufatura aditiva é altamente condicionado à inovação em tecnologia e avanços no material, mas além disso depende de outras considerações, como atualização e novos mecanismos gerenciais e modelos de negócios (MUKAI; LI; SUH, 2021; VARO-MARTÍNEZ *et al.*, 2022).

Mukai, Li e Suh (2021), desenvolveram um produto que diminuía o desconforto na utilização de um dispositivo que auxiliava no tratamento do câncer de mama que era mais pesado e volumoso para o paciente. Por meio da impressão 3D conseguiu reduzir o peso e volume tornando mais confortável para o paciente.

A impressão 3D é amplamente utilizada na indústria para várias aplicações, incluindo:

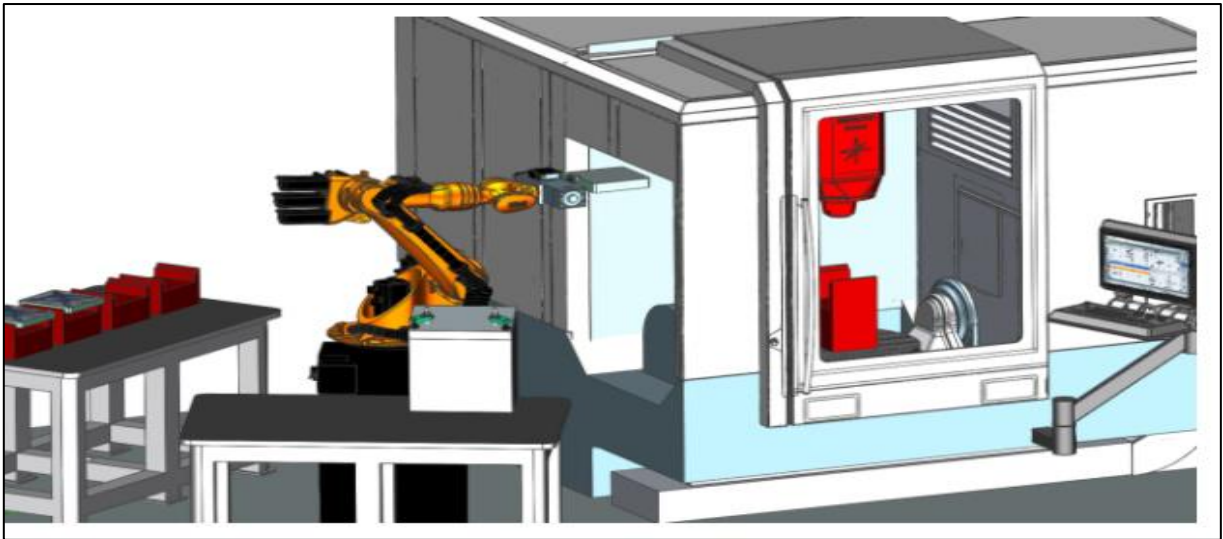
- a. Prototipagem e produção de peças personalizadas e de baixo volume;
- b. Fabricação de modelos e moldes para fabricação;
- c. Impressão de peças complexas e componentes estruturais, como as usadas em aviões, carros e foguetes;
- d. Impressão de peças de reposição para equipamentos e máquinas, o que torna os processos de manutenção e reparo mais rápidos e econômicos;
- e. Fabricação de modelos para testes de produtos e simulações de situações;
- f. Criação de próteses personalizadas para pacientes;
- g. Fabricação de joias personalizadas, objetos de arte e outros produtos exclusivos;
- h. Impressão de modelos arquitetônicos e de construção, permitindo que os arquitetos e engenheiros visualizem o projeto antes da construção.

A manufatura aditiva é uma tecnologia revolucionária que está transformando a forma como os produtos são fabricados. A tecnologia permite a produção de peças complexas e personalizadas, com menor desperdício e custos mais baixos.

### **2.2.7 Simulação**

Davis *et al.*, (1991), a simulação consiste na projeção de um modelo do sistema real e, posteriormente, realizar experimentos, com a finalidade de se entender seu comportamento, traçando estratégias para sua operação. Segundo Rubmann *et al.*, (2015) na fase de engenharia, já são empregadas simulações tridimensionais de produtos, materiais e processos de fabricação, mas, no futuro, as simulações serão usuais mais extensivamente nas operações da fábrica. Essas simulações alavancarão dados em tempo real para espelhar o mundo físico em um exemplo virtual, que pode conter máquinas, produtos e seres humanos. A Figura 10 mostra uma simulação de robótica utilizando um *software* CAM (*Computer Aided Manufacturing*), ou manufatura assistida por computador.

Figura 10 – Simulação robótica



Fonte: PLMPRO (2021)

Como impacto positivo da simulação se podem citar fatos como o desenvolvimento rápidos de produtos; redução do ciclo projeto-manufatura; a fabricação clássica em massa procurará métodos de diminuição dos custos e o tamanho dos ciclos de produção; máxima personalização dos produtos e fabricação pessoal; criação de produtos personalizados e produção pessoal; redução dos custos com logística, provocando a probabilidade de enormes economias; preparação dos próprios produtos e suprimindo os custos de logística. Já nos impactos negativos permanece a perda de trabalho em uma indústria mais disruptiva; precificação alta de serviços e investimentos altos em tecnologias (SIEMENS, 2021; CAVATA *et al.*, 2020; RUBMANN *et al.*, 2015).

Com a simulação tem-se máxima interatividade, avaliando maiores percepções, com objetivo finalístico de abonar benefícios para as indústrias, como a redução de erros e custos na percepção de projetos e planos de produção, e na melhoria dos processos com admissão de tecnologia, sendo uma extraordinária ferramenta da Indústria 4.0 (SIEMENS, 2021; VILLANUEVA *et al.*, 2024).

### 2.2.8 Robôs Autônomos

Segundo Rivin (1987), a Associação das Indústrias Robóticas (RIA) determina que um robô industrial “é um manipulador programável, multifuncional projetado para manusear materiais, partes, ferramentas ou dispositivos específicos, pelo meio de movimentos

programados por variáveis para executar uma multiplicidade de trabalhos.” Hoje em dia existem no mercado robôs com diferentes características (XU *et al.*, 2021; SCHOLL, 2011). De acordo com Scholl (2011), com o desígnio de promover o entendimento de funcionamento dos equipamentos e a alternativa do mais perfeito modelo está fundamentado na aplicação, qualificou os robôs manipuladores nos seguintes aspectos:

1. sistema de controle;
2. mobilidade da base;
3. estrutura cinemática;
4. graus de liberdade;
5. espaço de trabalho;
6. tipo de acionamento.

A Figura 11 demonstra um robô de serviço logístico de transporte, em um determinado centro de distribuição.

Figura 9 - Robô autônomo de serviço logístico



Fonte: IFR (2021)

De acordo com a IFR – “*International Federation of Robotics*” (2021), a Ásia é o maior mercado de robôs industriais do mundo. Em 2020, foram 266.452 unidades foram instaladas, um aumento de 7% das 249.598 unidades em 2019. 71% de todos os robôs recém-implantados foram instalados na Ásia (2019: 67%). De 2015 a 2020, as instalações anuais de robôs cresceram 11% em média a cada ano.

O quadro é desigual nos três maiores mercados asiáticos: as instalações na China cresceram fortemente (168.377 unidades; + 20%), enquanto o mercado japonês (38.653 unidades; -23%) e o mercado coreano (30.506 unidades; -7%) apresentaram dificuldades. As instalações de robôs no segundo maior mercado, a Europa, diminuíram 8% para 67.700 unidades, abaixo pelo segundo ano consecutivo de um pico de 75.560 unidades em 2018. No entanto, a taxa de crescimento média anual de 2015 a 2020 foi de + 6%. A contagem de

instalações na Alemanha, o maior mercado europeu, permaneceu quase constante em 22.302 unidades, enquanto o segundo maior mercado europeu, Itália (8.525 unidades; -23%). (IFR, 2021).

Utilizar robôs na indústria não é um conceito novo, mas, na indústria 4.0 eles recebem novas tecnologias como inteligência artificial e *big data* sendo novas versões apresentadas por Rivin (1987), conseguindo agrupar novas competências para trabalhar sem a interferência humana sendo capazes de trabalhar para automatizar e ordenar suas ações de forma autônoma e inteligente (AVHAD; SCHOU; MADSEN, 2023; IFR, 2021; ZHAO *et al.*, 2020; SCHOLL, 2011).

Existem diversos tipos de robôs colaborativos que podem ser utilizados na indústria ou em outras atividades. Alguns exemplos incluem:

- a. Robôs colaborativos móveis, que podem se movimentar pelo ambiente de trabalho.
- b. Robôs colaborativos de carga pesada, que são projetados para lidar com cargas difíceis e pesadas.
- c. Robôs colaborativos de montagem, que auxiliam na montagem de peças e componentes em produtos acabados.
- d. Robôs colaborativos fixos, que permanecem em um local fixo e realizam tarefas repetitivas.
- e. Robôs colaborativos de inspeção, que são usados para examinar peças e produtos e identificar possíveis defeitos ou problemas.

Os robôs colaborativos são uma nova geração de robôs industriais que são projetados para trabalhar em conjunto com os seres humanos. Eles são mais seguros e fáceis de usar do que os robôs tradicionais, o que os torna uma opção atraente para uma ampla gama de aplicações. Os robôs industriais são uma tecnologia transformadora que está mudando a forma como a indústria é operada. À medida que a tecnologia continua a se desenvolver, os robôs industriais se tornarão ainda mais sofisticados e capazes, desempenhando um papel ainda mais importante na indústria 4.0.

### **2.2.9 Big Data**

Segundo Laney *et al.*, (2001) das primeiras definições para a *big data* estende o termo como conjuntos de dados com três atributos: volume, velocidade e variedade. Sedkaoui (2018)

acrescenta em outros dois atributos: veracidade e valor. Permanece ainda uma discussão entre os pesquisadores sobre a necessidade de acrescentar o atributo “valor” (WAMBA *et al.*, 2015).

A solução de *Big Data* passa por uma governança de dados cada vez maior e mais complexa, considerando pelo menos o volume, a velocidade, a variedade, a veracidade e o valor dos dados, entendido como o quinto “V” por Sedkaoui (2018). Volume significa a quantidade acumulada de dados e seu fluxo de entrada. Velocidade representa o ritmo de dados usados para interações e variedade significa a quantidade de formatos e estruturas de dados (MAKPAISIT; CHANTRAPORNCHAI, 2021).

A IBM acrescentou outro “V” para a dimensão da veracidade em resposta às questões de qualidade e de origem de seus dados (DASH *et al.*, 2019). A Microsoft ampliou essa classificação, incluindo o conceito de Visibilidade, enfatizando o que é exigido para ter uma imagem completa dos dados. O último “V” a ser introduzido foi a Variabilidade, isto é, as fontes de dados variam e que os dados de *Big Data* podem ser estruturados, semiestruturados ou não-estruturados, e podem ser provenientes de diferentes sistemas, dispositivos ou uma variedade de fontes, como transações financeiras, registros de atividades de redes sociais, registros de navegação na *web*, dentre outros.

Figura 10 - Resumo sintetizado dos 6 atributos utilizados no *big data*



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Em resumo, o *big data*, além de arrastar uma ampla massa de dados envolve a ideia de um sistema que contém soluções que avaliam a velocidade de processamento e serviços que



acrescem valor, no entanto, em benefício à definição de *big data*, é ainda fundamental identificar um artifício para seu projeto e prática. Assim, é imprescindível que os pré-requisitos para o *big data* sejam propriamente identificados, consentindo que o desenvolvimento de sistema pertinentes sejam efetivamente orientados à solução das necessidades dos usuários desta tecnologia (XIONG *et al.*, 2023; FATHI *et al.*, 2022; WAMBA *et al.*, 2015; LANEY *et al.*, 2001).

Algumas das tecnologias mais comuns para a utilização do *Big Data* incluem:

- a. *Hadoop*: um sistema de processamento distribuído de dados em larga escala que permite o armazenamento e processamento de grandes quantidades de dados.
- b. *Spark*: uma plataforma de processamento de dados em memória que permite o processamento de grandes volumes de dados de forma mais rápida e eficiente do que o *Hadoop*.
- c. *NoSQL*: bancos de dados *NoSQL* permitem o armazenamento de grandes quantidades de dados em alta velocidade e com flexibilidade, permitindo que os dados possam ser armazenados em diferentes formatos.
- d. *MapReduce*: uma estrutura de programação que permite a distribuição de tarefas de processamento de dados em um cluster de computadores, tornando o processamento mais rápido e eficiente.
- e. *Elasticsearch*: um mecanismo de pesquisa e análise de dados que permite a busca em grandes conjuntos de dados e a extração de insights valiosos.

Essas são apenas algumas das tecnologias comuns utilizadas em *Big Data*, mas existem muitas outras plataformas, ferramentas e tecnologias específicas de aplicação.

O *big data* é uma tecnologia poderosa que tem o potencial de transformar a forma como as empresas operam. À medida que a tecnologia continua a se desenvolver, é provável que tenha um impacto ainda maior nas empresas e na sociedade.

### 2.2.10 Gêmeos Digitais

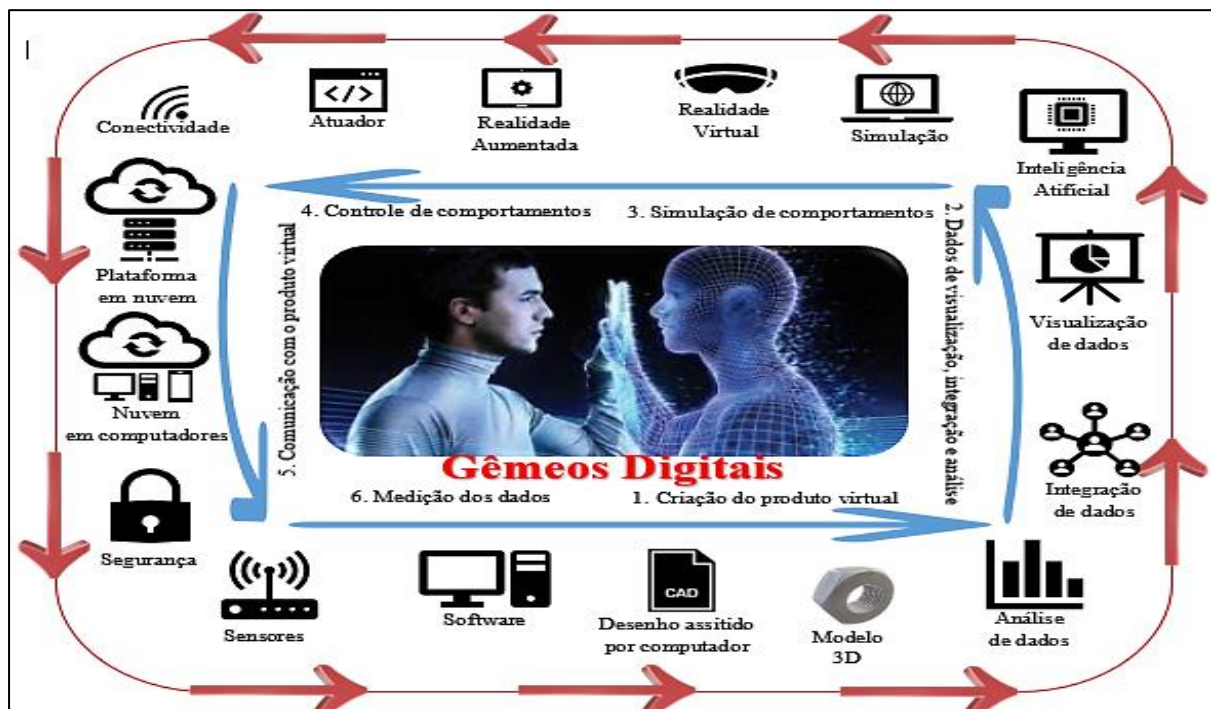
Dentre as possibilidades de operacionalização dos conceitos da indústria 4.0 identificam-se os exemplos de produtos virtuais ou Gêmeos Digitais. Segundo Li *et al.*, (2021) definem que os modelos de produtos virtuais, que são frequentemente chamados de Gêmeos Digitais ou *digital twin*, são usados como um aditivo para reduzir o tempo de comercialização e para criar benefícios suplementares ao longo de todo o ciclo de vida de um determinado

produto ou processo. O *digital twin* é definido como um exemplo muito realista do estado atual do processo e seu adequado desempenho em interconexão com sua atmosfera real física (BARBIERE, 2016; MASUHR *et al.*, 2020).

Consiste em coletar, receber e avaliar informações, permitindo que a partir dos efeitos e sínteses adquiridos, exista uma idealização, gerenciamento e atuações com objetivos de amortizar custos, agilizar ciclos de fabricação, otimização dos processos e antecipar futuras dificuldades, detectadas ocorrências ineficientes e prevendo demandas futuras (JAMIL; RAHMAN; FAWAD, 2022; TAO *et al.*, 2019; DING *et al.*, 2019).

Tao *et al.*, (2019) apresentam um novo método para design de produto baseado no digital com uma abordagem dupla. O desenvolvimento do design do produto é brevemente apresentado primeiro e uma estrutura de *Digital Twin-Driven* e as tomadas das informações e análises são feitas em seis processos: 1. se cria o produto virtual; 2. projeta a visualização e integração do modelo; 3. simulação do modelo; 4. controle e operacionalização do modelo; 5. comunicação com o modelo virtual e 6. medição dos dados. A Figura 12 mostra a relação entre mundo físico e digital.

Figura 11 - Interconexão entre ambiente digital e ambiente físico



Fonte: elaborado pelo autor a partir de Tao *et al.*, (2019)

Um Gêmeo Digital sobreposto no contexto da indústria 4.0 permite que sejam resolvidos problemas muito expressivos para os processos produtivos atuais, como, a probabilidade de agir antecipadamente, com *design* apropriado, impedindo paradas indesejadas

traduzem-se em capitalização para a companhia, diminuição de gastos com compras e acordos de emergência, além de contenção com logística comercial necessária para evitar o desabastecimento do mercado (BIBBY; DEHE, 2018).

O Digital Twin é amplamente utilizado na indústria para melhorar a eficiência e a qualidade da produção e para permitir manutenção preditiva de equipamentos e máquinas (Yang. *et al.*, 2023). Alguns exemplos de aplicação do *Digital Twin* na indústria incluem:

- a. Análise e simulação do processo de produção para identificar possíveis melhorias e incrementos para aumentar a eficiência.
- b. Previsão de falhas em equipamentos e máquinas através do uso de sensores e modelos virtuais.
- c. Otimização de manutenção preventiva, reduzindo o tempo de inatividade de máquinas e equipamentos.
- d. Previsão de desgaste de peças, possibilitando a substituição delas antes que falhem.
- e. Criação de modelos virtuais de produtos para permitir a simulação e teste virtual, antes da produção física.

Os gêmeos digitais ainda estão em sua fase inicial de desenvolvimento, mas têm o potencial de ter um impacto significativo na indústria. À medida que a tecnologia continua a se desenvolver, é provável que os gêmeos digitais se tornem mais comuns e sejam usados por uma ampla gama de empresas.

### 2.3 MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0

A literatura proporciona alguns modelos agregados para mensurar o nível de maturidade da indústria 4.0. Os modelos oferecem formatos diferentes de avaliação de tal maneira que a medição possui algumas características e escalas (WEBER *et al.*, 2017). Para a escolha dos modelos usados neste trabalho, foi estimado modelos que adéquam a maturidade das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0.

Para operacionalizar esta etapa buscou-se fazer a bibliometria apresentada no quadro 1, dimensão 11 com as palavras chaves "*Maturity*" AND "*Industry 4.0*" na área de gestão com o recorte a temporal pois os primeiros documentos apresentados na base de dados *Scopus* tem data inicial a partir do ano de 2016, o resultado apresentou 120 documentos para base desta análise se trabalhou com os 5 documentos mais recentes, 5 documentos mais citados e os 5

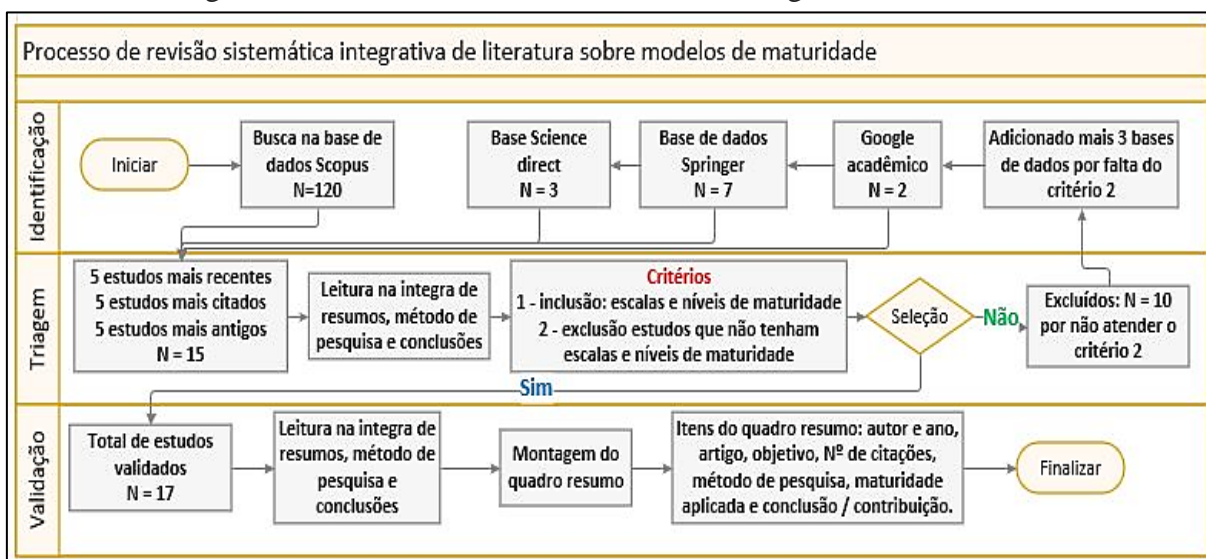
documentos mais antigos com um total de 15 documentos para compor uma revisão integrativa de literatura para avaliar os modelos de maturidade.

### 2.3.1 Levantamento dos modelos de maturidade a partir da revisão integrativa de literatura

Para esta aplicação da revisão integrativa de literatura formulou-se uma pergunta norteadora ligada ao 1º objetivo de pesquisa deste projeto, que é: **quais os modelos de avaliação de maturidade aplicados no contexto da indústria 4.0?** A revisão integrativa da literatura é um método de pesquisa que aplica dados secundários provenientes de um conjunto de estudos que abordam um assunto peculiar (LANZONI; MEIRELLES, 2011).

De acordo com Copper (1984), foram desempenhadas as seguintes etapas para a revisão: formulação do problema de pesquisa, classificação e avaliação das informações obtidas, análise e interpretação dos dados e conferência com a nitidez das implicações de pesquisa. A Figura 12 mostra como foi o processo de revisão.

Figura 12 - Processo de revisão sistemática integrativa de literatura



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

O processo foi dividido em 3 fases: fase 1 identificação, foi a busca na base de dados *Scopus*, por 15 documentos sobre modelos de maturidade aplicados na indústria 4.0; a fase 2 triagens, foi feita a leitura dos resumos, método de pesquisa e conclusões dos artigos. Formulou-se dois critérios para avaliação dos artigos onde o critério 1 é denominado de inclusão, para documentos que apresentem escalas e níveis de maturidade e o critério 2 é denominado de

exclusão artigos que não apresentam escalas e níveis de maturidade. Houve 10 artigos da base *Scopus* que não atenderam o critério 1 e foram excluídos da amostra N= 15.

Para atender o critério 1 foi adicionado às bases de dados: *Science direct* com a inclusão de 3 documentos, *Springer* com 7 documentos e *Google acadêmico* com 2 documentos. No total a mostra final para revisão ficou em N = 17 documentos. Na fase 3 foi feito as leituras dos resumos, método de pesquisa e conclusão, mas também se investigou os tópicos de referencial teórico. Finalizando todas as fases se montou o quadro 3 apresentado no **Apêndice “D”**.

### **2.3.2 Modelos de maturidade no contexto da indústria 4.0**

Os modelos oferecem formatos diferentes de avaliação tanto na forma quanto no que se almeja medir. Para a seleção dos modelos usados neste trabalho, foi estimado modelos que medem a maturidade das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Também foi ressaltado as dimensões de abrangência e escalas aplicadas aos níveis.

O modelo de maturidade aplicado por Fernandez, Barrero e Rojas (2022), mensurou as seguintes dimensões: 1 – gestão dos recursos humanos; 2 – estratégia; 3 – recursos tecnológicos; 4 – gestão dos dados; 5 – cyber segurança. Os dados mostraram que 60.8 % das empresas da região de Bogotá na Colômbia não utilizam nenhuma tecnologia habilitadora da indústria 4.0, 19,6 % utilizavam computação em nuvem, 16,7 % aplicavam robôs em suas empresas e 6,9 % utilizavam *big data* e internet das coisas.

Nakamo *et al.*, (2021), analisou o nível de maturidade sobre a interoperabilidade para sistemas heterogêneos que apresenta uma etapa preliminar a empresas e processos situadas nas primeiras fases da transformação digital. Os níveis aplicados são 5: nível 0 - despreparado: não há capacidade de interoperação; nível 1 - definido: capaz de modelar e descrever para preparar interoperabilidade; nível 2 - alinhado: capaz de fazer alterações para alinhar com formatos comuns e padrões; nível 3 - organizado: capaz de meta modelar para interoperar com múltiplos parceiros heterogêneos e nível 4 - adaptado: capaz de acomodar dinamicamente com qualquer parceiro.

Santos e Martinho (2019), descreveram uma ferramenta para avaliar o nível de maturidade na implementação de conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 em empresas de manufatura o modelo apresentou 5 dimensões: 1- estratégia organizacional, estrutura e cultura; 2 – trabalhadores; 3 - fábricas inteligentes; 4 - processos inteligentes; 5 - Produtos e serviços inteligentes. 5 níveis: (0) baixo ou nenhum grau de implementação; (1) ações piloto em

planejamento; (2) implementação das ações iniciadas; (3) implementação parcial de ações; (4) implementação avançada de ações; (5) referência na aplicação dos conceitos.

Schumacher, Nemetha e Sihna (2019), desenvolveram um modelo de procedimento holístico que orienta as empresas de manufatura desde o primeiro contato com a indústria 4.0 até a definição da etapa final do projeto. O modelo tem 8 dimensões e dentro de cada dimensão a itens a serem avaliados: dimensão 1 - tecnologia (9 itens); dimensão 2 - produtos (7 itens); dimensão 3 - clientes e parceiros (8 itens); dimensão 4 - processos de criação de valor (8 itens); dimensão 5 - dados e informações (8 itens); dimensão 6 - padrões corporativos (8 itens); dimensão 7 - funcionários (9 itens); dimensão 8 - estratégia e liderança (8 itens).

Schuh *et al.*, (2017) desenvolveram o modelo conhecido como *Acatech*, fornece um meio de estabelecer o estágio de maturidade atual da indústria 4.0 das empresas e identifica medidas concretas para ajudá-los a alcançar um maior estágio de maturidade, a fim de maximizar os benefícios econômicos de Indústria 4.0 e digitalização. A aplicação foi na companhia AG & Co. KG e tem 4300 funcionários, 43 empresas de vendas e 13 fábricas. O modelo possui 4 dimensões: 1 - sistemas de informação; 2 - cultura organizacional; 3 - recursos; 4 - estrutura organizacional. 6 níveis: (1) informatização; (2) conectividade; (3) visibilidade; (4) transparência; (5) previsibilidade; (6) adaptabilidade.

Schumacher, Erol e Sihn (2016), implementaram um modelo para medir a maturidade da indústria 4.0 de empresas industriais no domínio da fabricação discreta, considerando aspectos da estratégia organizacional. Apresentou 9 dimensões: 1 – liderança; 2 – pessoas; 3 - tecnologia; 4 - estratégia; 5 - produtos; 6 - governança; 7 - clientes; 8 – cultura; 9 - operações. 5 níveis: de (1) total falta de atributos a (5) estado da arte necessário de atributos.

O artigo *IMPULS-Industrie 4.0-Readiness, Impuls-Stiftung des VDMA* apresenta o modelo *IMPULS*, onde o objetivo foi desenvolver um modelo de prontidão para estratégias das organizações no contexto da I4.0. Este modelo apresenta 6 níveis: 1- estratégia; 2 - produtos inteligentes; 3 - operações inteligentes; 4 - fábrica inteligente; 5 - funcionários; 6 - serviços baseados em dados. 6 níveis de maturidade: (1) executante, (2) especialista, (3) experiente, (4) intermediário, (5) iniciante e (6) estranho (LINCHTBLAU *et al.*, 2015).

Halper e Krish. (2014), apresentam um modelo de maturidade que quantifica, entende o progresso de implementação da *big data*, aplicado em 4 empresas: *Cloudera*, *IBM*, *MarkLogic* e *Pentaho*. Contém 5 dimensões: 1 – organização; 2 – infraestrutura; 3 – gestão de dados; 4 – análise; 5 – governança. 5 níveis: (1) pré-adoção; (2) adoção antecipada; (3) adoção corporativa; (4) maduro; (5) visionário.

O modelo “*Gartner*”, *Introduces the EIM Maturity Mode* apresenta a maturidade para ajudar os líderes de TI a alinhar seus esforços para educar a alta administração, apontar os pontos fracos da organização para alinhamento das ações. Possui 3 dimensões. 1 – Imaturo; 2 – maduro; 3 – sofisticado. 6 níveis: (1) inconsciente; (2) consciente; (3) reativo; (4) proativo; (5) gerenciado; (6) efetivo (NEWMAN; LOGAN, 2008).

Os resultados da RSL fornece diferentes escalas e estruturas como o modelo de maturidade de *Big Data* TDWI em relação ao modelo de maturidade *Gartner* EIM, ele apresenta o modelo e seus componentes, projetado para ajudar as organizações a avaliar seu nível de maturidade no gerenciamento e alavancagem de seus ativos de dados. O modelo *Gartner* EIM inclui cinco níveis de maturidade: inicial, oportunista, padronizado, estratégico e diferenciado. O estudo fornece uma visão geral do modelo e seus benefícios e oferece orientação sobre como as organizações podem usá-lo para melhorar suas práticas de gerenciamento de dados.

Os modelos de maturidade apresentam em seu desenvolvimento métodos mistos de pesquisa tais como: qualitativo, quantitativo, revisão de literatura, *benchmarking*, estudo de caso e múltiplos casos. A predominância de método de pesquisa é quantitativa. Envolveram empresas, especialistas e pesquisadores.

## 2.4 O MÉTODO *STAGE-GATES*

Segundo Vasconcellos e Marx (2011), o *Stage-gate* é um método para gerenciar o desenvolvimento de projetos de novos produtos, constituindo que sua primeira geração foi arquitetada no ano de 1985 pelo professor Robert G. Cooper (1990) e aperfeiçoada desde então a partir do exame de centenas de lançamentos de produtos para identificar o que tem sido feito pelas companhias e equipes de sucesso em desenvolvimento de novos produtos (DNP), com o desígnio de distinguir as práticas de desenvolvimento de produto.

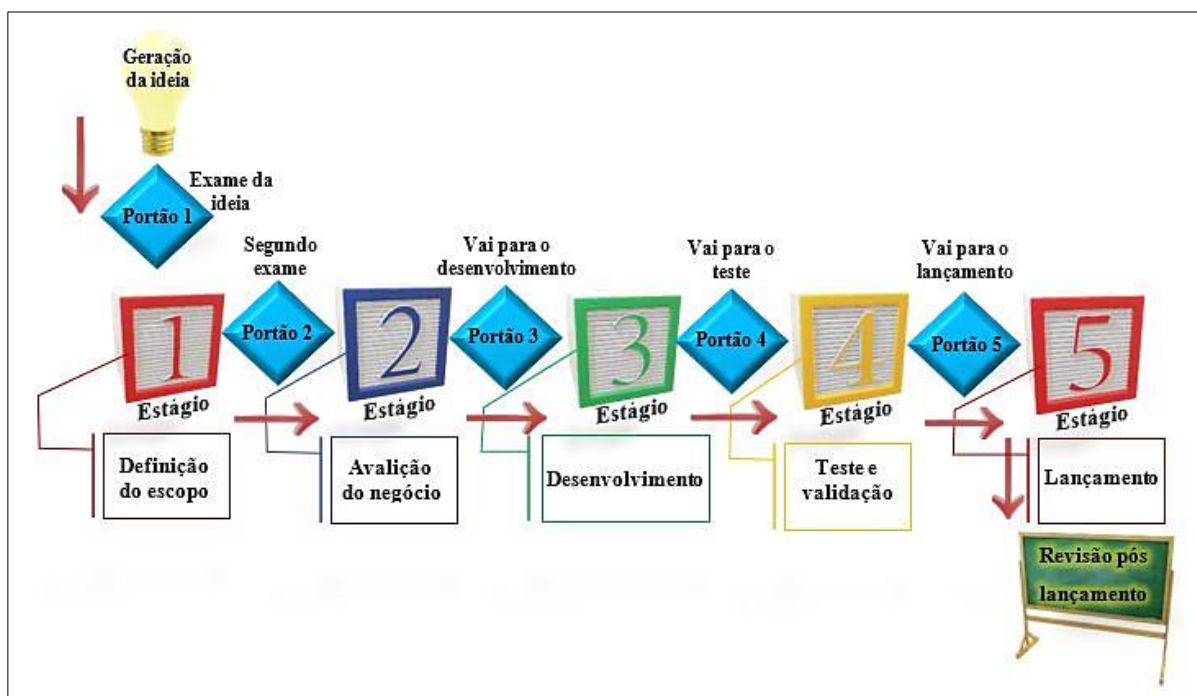
De acordo com *Stage-gate International*, (2021), o modelo *Stage-gate* foi largamente difundido e hoje traz como resultado a comercialização de 2 a 3 vezes mais rápida de um produto, 72% de rentabilidade dos valores de comercialização e 12 vezes mais produtivo na fase de desenvolvimento. Outro dado interessante é que 80% do total de 1000 empresas globais utiliza este conceito para os desenvolvimentos de novos produtos, o que mostra a robustez da metodologia (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

De acordo com Cooper (2008), o método *Stage-gate* é uma representação conceitual e ativa para o desenvolvimento de novos produtos, que vai para a ideia até o lançamento do

produto no mercado. O autor sugere que o processo de inovação está dividido em um conjunto de estágios (*stages*). Cada estágio incide em um conjunto de atividades pré-definidas, desenvolvidas de forma equivalentes e efetivadas por um grupo multidisciplinar. Os estágios são desenvolvidos para gerar dados para que o projeto possa prosperar para o estágio seguinte (COOPER; SUMMER, 2016).

De acordo com Cooper (2000) apresenta as seguintes definições: i) *Stage*: manifesto como fase, diz respeito à etapa onde as ações acontecem. A equipe multidisciplinar realiza as atividades previamente definidas, além de outras em paralelo. ii) *Gate*: manifesto como averiguação, se refere à etapa onde as decisões de permanecer ou eliminar o projeto acontecem. Por meio da adoção de métricas, avalia-se a potencialidade de sucesso dos projetos e faz-se o controle de qualidade do desenvolvimento. Nos *gates*, projetos são priorizados e a alocação de recursos é apresentada e escolhida. *Stage-gate* não é um processo rígido. As organizações podem e necessitam adaptá-lo às suas situações, não essencialmente carecem passar por todos os estágios (*stages*) ou portões (*gates*), atividades e conferes podem ser ignoradas, da própria forma, atividades de um estágio podem ser transferidas para outro estágio, conforme recomendado por Cooper (2008). A Figura 15 simula o modelo *Stage-gate* com todos os seus estágios.

Figura 15 - Modelo do processo *Stage-gate*



Fonte: elaborado pelo autor e adaptado de Cooper (2008)



Para uma compreensão mais detalhada objetivou-se fazer uma tabela resumo com as características de cada etapa do modelo *Stage-gate*.

Quadro 2 - Etapas descritivas do processo do modelo *Stage-gate*

<b>Etapa do Processo</b>	<b>Característica Descritiva</b>
Geração da Ideia	Pré-trabalho projetado para achar oportunidades e causar ideias.
<i>Gate 1</i> : exame da ideia	Primeira decisão para comprometer recursos no projeto, ponto de surgimento do projeto, se aprovado migra para a definição do escopo.
<i>Stage 1</i> : definição do escopo	Averiguação preliminar rápida com aceção do escopo do projeto.
<i>Gate 2</i> : segundo exame	Análogo ao <i>Gate 1</i> , contudo mais rigoroso, com reavaliação do projeto de acordo com a aceção do escopo.
<i>Stage 2</i> : avaliação do negócio	Uma verificação muito mais delineada envolvendo pesquisa elementar, tanto técnica quanto mercadológica, induzindo a um <i>Business Case</i> , contendo definição de produto e projeto, justificativa do projeto e um plano de projeto.
<i>Gate 3</i> : vai para desenvolvimento	Último ponto que em o projeto pode ser anulado antes do início de gastos resumidos.
<i>stage 3</i> : desenvolvimento	Desenho detalhado e desenvolvimento do novo produto, e o desenho das operações ou processo de produção. A prática da inovação, foco do presente estudo, se estabelece nas atividades realizadas nesse estágio em diante.
<i>Gate 4</i> : vai para teste	Revisão pós-desenvolvimento para averiguação do progresso e atratividade do produto ou projeto. Garantia de que o trabalho foi completado com a qualidade prometida e que o produto está consistente com o escopo.
<i>Stage 4</i> : teste e validação	Testes ou ensaios no mercado, laboratório e planta para verificar e validar o novo produto indicado, e sua comercialização e produção / operação.
<i>Gate 5</i> : vai para lançamento	Última decisão antes do lançamento e início da produção/operação e possui foco na qualidade das atividades de teste e validação.
<i>Stage 5</i> : lançamento	Negociação e início das operações ou produção, marketing e venda.
Revisão pós-lançamento	Em alguma ocasião após a comercialização, o projeto do novo produto é completado, o time é desmobilizado e é efetivada a revisão do desempenho do produto e do projeto.

Fonte: elaborado pelo autor e adaptado de Cooper (2008)

Há algumas críticas ao modelo *Stage-gate* foram registradas que de acordo com Sethi e Iqbal (2008) apuraram problemas com a aplicação do modelo *Stage-gate* para desenvolvimento de novos produtos. Com base em uma pesquisa de 120 projetos focada em DNP, eles descobriram que os critérios de controle severos do *Stage-gate* sobrepuseram a

inflexibilidade do projeto, o que por sua vez induziu a falhas de aprendizagem no projeto “DNP<sup>7</sup>” e, portanto, anulou a performance do produto.

Segundo Kopmann *et al.*, (2017), indicaram a ideia de “controle estratégico”, que inclui o controle das instalações, o controle da implementação e controle de coisas novas inteiramente imprevistas. Os primeiros dois controles estão ligados às estratégias determinadas, e o último controle está conectado a estratégias emergentes em particular. Com base em uma pesquisa de 182 projetos DPN, eles encontraram que as atividades de controle estratégico não exclusivamente promoveram a implementação das estratégias almejadas (ou seja, "fluxo principal" de projetos DPN que passaram pelo processo clássico de revisão de portão rigoroso), mas também consentiu a descoberta de oportunidades estratégicas revelando padrões emergentes

Qin e Van Der Rhee (2021), utilizaram em sua pesquisa a revisão de literatura e entrevistas com gerentes para minimizar algumas falhas do modelo *Stage-gate*. Através do desenvolvimento de uma lista de verificação as empresas podem usar para identificar novos produtos potencialmente bem-sucedidos (tesouros) dentre os projetos abandonados anteriormente (lixo), a lista de verificação do estudo não é apenas útil para reduzir o custo irrecuperável associado a projetos rejeitados antes, mas também pode cultivar seu potencial de sucesso e se tornar um completo do modelo *Stage-gate* (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

Por estas razões, este processo clássico tem sido alvo de alterações e ajustes, por parte de algumas empresas. Neste sentido, para projetos de alta incerteza, a indústria de software implementou métodos *Agile* em cada estágio do clássico *Stage-gate* (COOPER; SOMMER, 2020).

#### **2.4.1 Evolução do modelo *Stage-gate*.**

O modelo *Stage-Gate Full* é uma versão mais completa e detalhada do modelo *Stage-Gate* para gerenciamento de projetos de desenvolvimento de novos produtos. Ele inclui uma série de etapas sequenciais que devem ser concluídas antes que o projeto possa progredir para a próxima fase. As etapas incluem avaliações detalhadas do projeto, análise de mercado, desenvolvimento do conceito, análise financeira e vários testes de validação (COOPER; SOMMER, 2020).

---

<sup>7</sup> DPN: Desenvolvimento de novos produtos.

O objetivo do modelo *Stage-Gate Full* é assegurar que projetos de novos produtos sejam bem planejados, financeiramente viáveis e apoiados por pesquisas de mercado e validação do conceito. Ele fornece uma estrutura robusta para o gerenciamento de projetos e ajuda a garantir que todos os aspectos importantes do projeto sejam levados em consideração antes de prosseguir para a próxima fase. Em resumo, o modelo *Stage-Gate Full* é uma versão expandida do modelo *Stage-Gate* que inclui mais detalhes e etapas para garantir a qualidade e viabilidade de projetos de novos produtos (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

O modelo *Stage-Gate Lite* é uma versão simplificada e mais ágil do modelo *Stage-Gate* para gerenciamento de projetos de desenvolvimento de novos produtos. Ele foi projetado para projetos de menor risco e menor escala, como pequenas modificações de produto e projetos de renovação (QUINAZ, 2022; STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

O modelo *Stage-Gate Lite* é uma abordagem simplificada do modelo *Stage-Gate*, que é amplamente utilizado no desenvolvimento de novos produtos. O modelo *Stage-Gate Lite* consiste em três fases principais:

1. **Ideação:** Nesta fase, a equipe de desenvolvimento de produtos busca identificar oportunidades e desafios no mercado. Isso envolve a realização de pesquisas de mercado, análise de tendências e necessidades dos clientes, além de explorar ideias e conceitos inovadores para o desenvolvimento de novos produtos.
2. **Desenvolvimento:** Na fase de desenvolvimento, as ideias selecionadas na fase de descoberta são transformadas em conceitos tangíveis. Aqui, a equipe trabalha na elaboração dos detalhes do produto, considerando aspectos como design, funcionalidades, materiais e tecnologias possíveis. Além disso, são definidos os recursos e o plano de execução do projeto.
3. **Lançamento:** A fase de lançamento ocorre após o desenvolvimento do produto. Aqui o produto é preparado para ser lançado no mercado. Isso envolve a realização de testes finais, ajustes finais do produto, criação de estratégias de marketing e comunicação, além do planejamento da produção e distribuição. O objetivo é garantir um lançamento bem-sucedido e maximizar as chances de sucesso do novo produto.

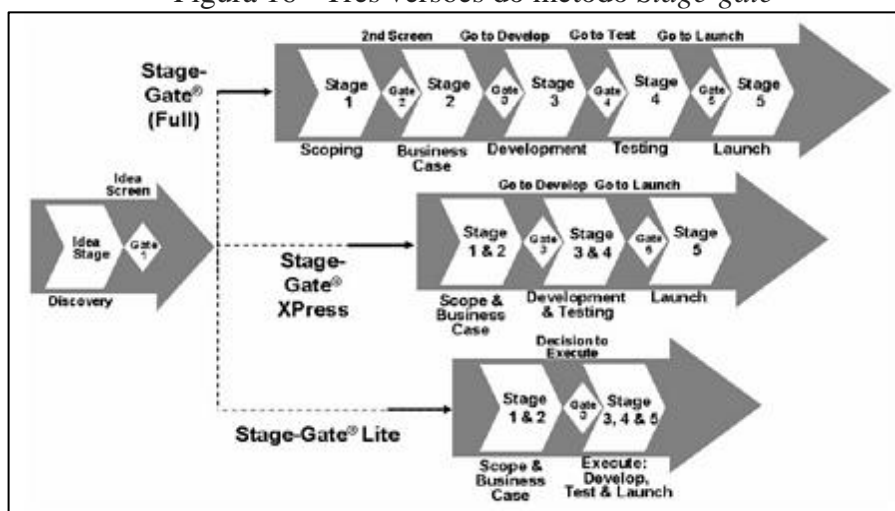
O modelo *Stage-Gate Lite* permite uma abordagem ágil e eficiente para o desenvolvimento de produtos, ao mesmo tempo em que mantém os principais princípios do modelo *Stage-Gate*. Essas fases fornecem uma estrutura para garantir que o desenvolvimento de novos produtos seja guiado por etapas bem definidas, com decisões sendo tomadas em

pontos-chave ao longo do processo. Isso ajuda a minimizar os riscos e maximizar as chances de sucesso do produto no mercado (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

O *Stage-Gate Express* é uma variação do processo *Stage-Gate* projetado para projetos menores e de menor risco com menos incógnitas. É uma versão acelerada de 3 estágios do tradicional processo *Stage-Gate* de 5 estágios, que inclui geração de ideias, triagem de ideias, desenvolvimento e teste de conceito, análise de negócios, desenvolvimento, teste e lançamento. O modelo *Stage-Gate Express* é uma metodologia de gerenciamento de projetos que divide o processo de desenvolvimento de um produto ou serviço em cinco fases distintas, cada uma com um objetivo específico. As fases são:

1. **Ideia:** Nesta fase, são geradas ideias para novos produtos ou serviços. As ideias são então avaliadas para determinar seu potencial de sucesso.
2. **Escopo:** Nesta fase, é definido o escopo do novo produto ou serviço. Isso inclui a definição dos requisitos funcionais e não funcionais.
3. **Negócio:** Nesta fase, é desenvolvido um caso de negócios para o novo produto ou serviço. O caso de negócios deve demonstrar que o produto ou serviço é viável e lucrativo.
4. **Desenvolvimento:** Nesta fase, o novo produto ou serviço é desenvolvido.
5. **Lançamento:** Nesta fase, o novo produto ou serviço é lançado no mercado.

Cada fase do modelo *Stage-Gate Express* é concluída com um portão, que é uma reunião formal para avaliar o progresso do projeto e tomar uma decisão sobre se o projeto deve avançar para a próxima fase. O processo *Stage-Gate Express* enfatiza a velocidade e a eficiência e inclui menos entradas e entregas do que o processo tradicional. Geralmente é usado para pequenas modificações ou melhorias no produto, extensões de linha ou outras alterações incrementais (COOPER e SUMMER, 2016). A Figura 16 mostra os estágios das três versões do método *Stage-gate*.

Figura 16 - Três versões do método *Stage-gate*

Fonte: *Stage Gate* Internacional (2023).

#### 2.4.2 Abordagens de desenvolvimento de produtos utilizando o método Lean em relação ao método Ágil.

A metodologia Lean no desenvolvimento de produtos envolve uma filosofia de minimizar o desperdício e maximizar o valor do cliente, criando produtos que atendam às necessidades dos usuários com o mínimo de recursos. O conceito central por trás do desenvolvimento de produtos Lean é entregar apenas o que os clientes precisam, quando precisam e nas quantidades que precisam. Isso é alcançado otimizando todos os aspectos do processo de desenvolvimento do produto, desde o projeto até a entrega, para reduzir o desperdício e aumentar a produtividade. De Toledo *et al.*, (2023), afirma que o processo Lean garante que novos produtos fossem desenvolvidos com foco na redução do desperdício e na agregação de valor às fases de design e fabricação de um produto.

Métodos ágeis são abordagens de desenvolvimento de produtos que enfatizam a colaboração, a flexibilidade, a entrega contínua de valor e a capacidade de adaptação a mudanças. Eles são aplicáveis não só ao desenvolvimento de software, mas também a outras áreas de produtos. A metodologia *Scrum* é um exemplo de metodologia ágil que é amplamente utilizada no desenvolvimento de produtos e soluções. O *Scrum* envolve a utilização de sprints para dividir o trabalho em pequenas partes gerenciáveis e enfatiza a colaboração, a transparência e a entrega contínua de valor ao cliente.

O estudo de Palsodkar, Yadav e Nagare (2023) teve como objetivo focar na criação de uma estrutura que possa ajudar a atingir os ODS adotando práticas ágeis de desenvolvimento de novos produtos e tecnologias da Indústria 4.0. Da literatura foram extraídas diversas práticas

da DNP, tecnologias da Indústria 4.0, métricas de desempenho, sua interligação e sua contribuição para o alcance dos ODS. Os pesos das práticas selecionadas da Indústria 4.0 – DNP foram calculados pelo método robusto do melhor pior e o método Fuzzy-Vikor foi usado para classificar as métricas de desempenho selecionadas. A pesquisa contribui para a adoção das práticas da DNP e tecnologias da Indústria 4.0 para o alcance dos ODS empresariais.

Pode-se traçar um comparativo entre os métodos. Uma comparação dos princípios-chave das metodologias Ágil e Lean no desenvolvimento de produtos. O Quadro 3 apresenta este comparativo.

Quadro 3 – Comparativo entre método Ágil e o método Lean para DNP.

Princípio	Ágil	Lean
Filosofia	Enfatiza a adaptabilidade e capacidade de resposta à mudança.	Enfatiza a eficiência e a redução de desperdício.
Foco no cliente	Prioriza o feedback contínuo do cliente e o envolvimento no processo de desenvolvimento	Prioriza a entrega de valor ao cliente.
Estrutura da equipe	Estrutura de equipe multidisciplinar com propriedade compartilhada de desenvolvimento de produtos.	Estrutura de equipe pequena e multifuncional.
Processo de desenvolvimento	Iterativo e incremental com lançamentos de produtos frequentes.	Fluxo contínuo com transferências e atrasos mínimos.
Melhoria contínua	Incentiva retrospectivas frequentes e adaptação do processo de desenvolvimento.	Incentiva a melhoria contínua em todos os aspectos da produção.
Ferramentas e técnicas	Utiliza ferramentas como <i>sprints</i> , <i>user stories</i> e <i>scrum boards</i> ; incorpora técnicas como desenvolvimento orientado a testes e programação em pares	Utiliza ferramentas como mapeamento de fluxo de valor e quadros kanban; incorpora técnicas como a produção <i>just-in-time</i> e o sistema 5S.

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

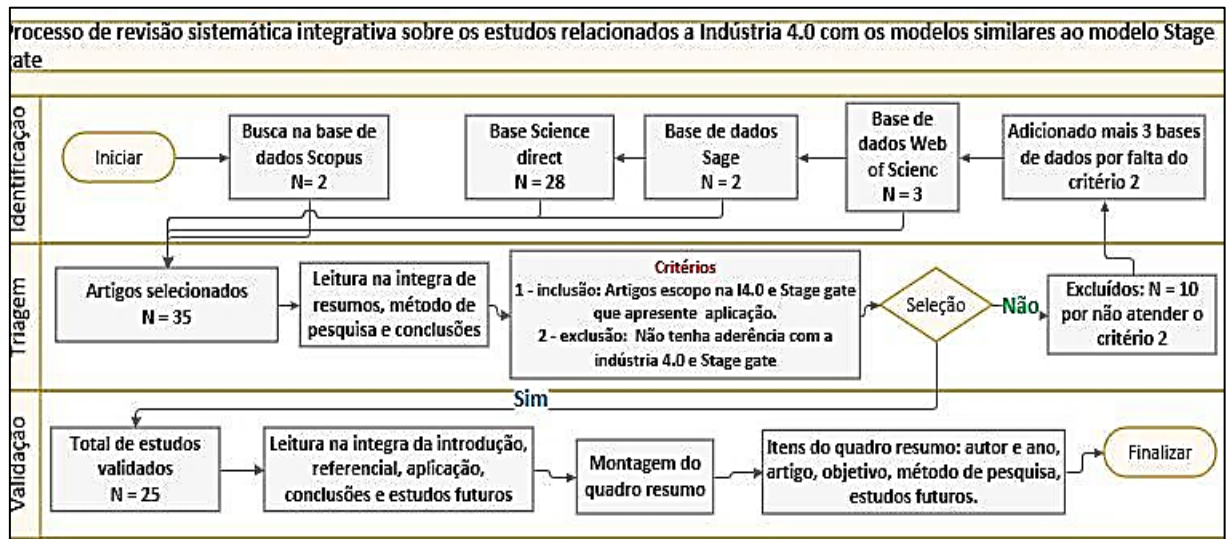
As metodologias Ágil e Lean compartilham algumas semelhanças, como seu foco na colaboração e melhoria, mas diferem em suas abordagens específicas para o desenvolvimento de produtos.

## 2.5 LEVANTAMENTO DOS ESTUDOS RELACIONADOS A INDÚSTRIA 4.0 COM OS MODELOS SIMILARES AO MODELO *STAGE-GATE* A PARTIR DA REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA

Nesta fase da revisão integrativa de literatura formulou-se uma pergunta norteadora para descobrir a relação entre os principais temas deste projeto, que é: **quais pesquisas estão aplicando modelos similares ou iguais ao modelo *Stage-gate* no contexto da Indústria 4.0?** Artigos que revisam um corpo de trabalho contribuem para a teoria quando não apenas relatam a literatura anterior, mas, ao contrário, analisam e sintetizam a pesquisa para gerar novas formas de conceber um determinado campo ou fenômeno”. (POST *et al.*, 2020).

O processo foi desenvolvido em três etapas: i) identificação; ii) triagem e iii) validação. A Figura 17 apresenta o processo de desenvolvimento do processo de revisão.

Figura 17 - Processo de revisão sistemática integrativa de literatura sobre I4.0 e métodos similares ao modelo *Stage-gate*



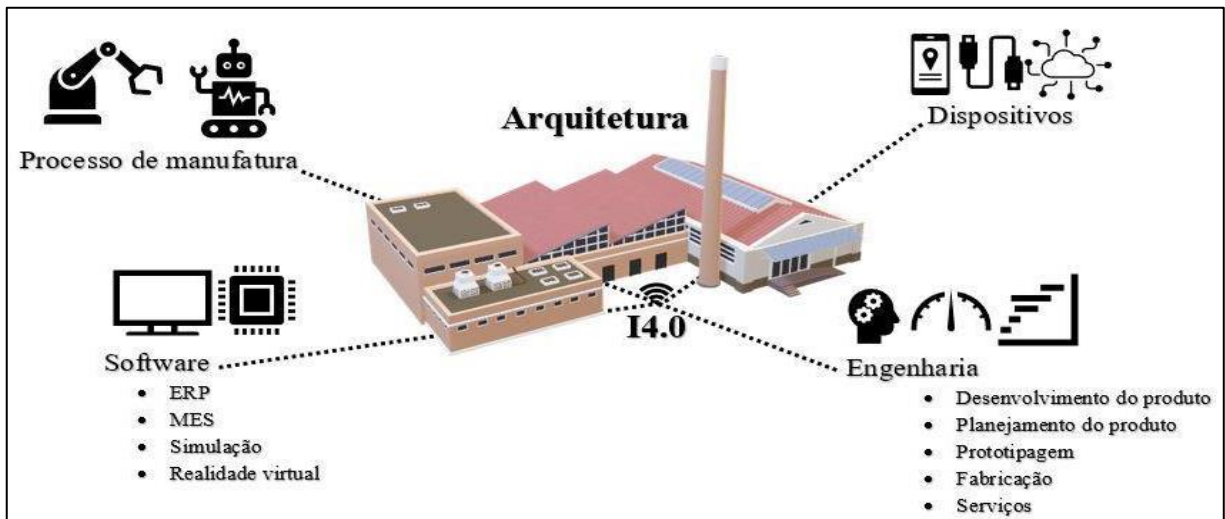
Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Estabeleceu-se dois critérios para avaliação dos artigos onde o critério 1 é denominado de inclusão por documentos que tenham o escopo na I4.0 e *Stage-gate* que apresente aplicação em indústrias e organizações e o critério 2 é denominado de exclusão para artigos que não tenham aderência com escopo I4.0 e *Stage-gate*. No total 10 documentos não atenderam os requisitos 1, ficando 25 artigos para serem lidos, assim gerando o quadro resumo 4 no **Apêndice “E”**.

### 2.5.1 Relação entre Indústria 4.0, métodos similares de DPN e o modelo *Stage-gate*

Segundo Kagermann *et al.*, (2013), por sua vez, apresenta que as P&Ds em geral, dentro da indústria 4.0, necessitarão de uma visão holística mais definida, abrangendo o consumidor, projeto de produto, manufatura, engenharia e logística. O que induz aos sistemas de inteligência e comunicação a também permanecerem ligados a essa visão. Além disso, também é notório que ferramentas como modelagem e simulação serão fundamentais, para os projetos e suas perspectivas envolvendo a indústria 4.0.

Figura 18 - Perspectiva da indústria 4.0



Fonte: adaptado pelo autor de Kagermann *et al.*, (2013)

Permin *et al.*, (2021), em seu estudo revisa métodos de desenvolvimento de produtos digitais, discute as semelhanças de requisito do método *Stage-gate* como um método clássico e o *Design thinking* como um método ágil. A inovação para produtos digitais e modelos de negócios dirigidos por dados só pode ser adquirida pela influência mútua direta com clientes ou parceiros dentro da mesma cadeia de valor. Em setores industriais bastante conservadores como a indústria do aço, quase 40% de todas as empresas já envolvem parceiros ao longo da cadeia de valor em pesquisa e desenvolvimento digital. (PERMIN *et al.*, 2021).

Pequenas e médias empresas também possuem recursos necessários implementar a tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 enquanto a maioria dos modelos existentes descreve um *status* ou apenas se acena para avaliações tecnológicas. Na literatura vigente, o modelo *Stage-gate* criado por Cooper (1990) e aplicado por Muller, Buliga, Voigt, (2018) desenvolve vários estágios e facilitadores para a Indústria 4.0. No entanto, esse modelo está limitado à perspectiva de inovação do modelo de negócio. (ESTENSORO *et al.*, 2021).

O processo *Stage-gate* é uma técnica de gerenciamento de projetos que tem sido usada para gerenciar amplos projetos de desenvolvimento e implantação de tecnologia por mais de 50 anos. Ele ressalta a qualidade, o risco e o valor, municiando uma estrutura sistemática para a tomada de decisões com vários projetos executados concomitantemente. A aplicação potencial desse processo aos desenvolvimentos de produtos 4.0. Explora fatores que tornam um processo de *gate-gate* bem-sucedido e como os vieses dissimulam os resultados das revisões do *gate*. A exploração dos vieses é arriscada e pode desvirtuar a interpretação deles por meio da percepção de repensar o processo *Stage-gate*. (SIGH; GARG, 2021).



De acordo com Blucher *et al.*, (2019), a questão chave para o futuro é o desenvolvimento de modelos de negócios, de maneira especial em termos de geração de valor a partir de dados operacionais. Assim, desenvolver o *software* e o IoT, tratam de tópicos importantes, como dimensionamento de modelos ajustados ágeis e dirigidos a planos ou modelos híbridos (tradicionais e ágeis), gestão de projetos ou desenvolvimento de novos produtos.

Cavalieri e Saísse (2019) forneceram uma visão macro do andamento e uma melhor coordenação e comunicação entre o projeto interno, partes interessadas, colaboradores e partes interessadas externas para aplicação de tecnologias digitais. O ciclo de condução “Descobrir-Definir-Criar-Avaliar” proporciona uma alternativa de gestão adequada-imersa e flexível para cada momento de evolução da digitalização. Ocorre dentro dos períodos de evolução, quando o conhecimento dos *stakeholders* é consolidado em um produto versão com o apoio de tecnologias digitais disruptivas. No final de cada ciclo de deslocamento, a equipe do projeto pode deliberar vá em frente, progredindo para o próximo momento de evolução no espiral de conhecimento ou retroceder para o período evolutivo anterior para consertar um caminho anterior ou determinar um novo.

No entanto, o modelo *Stage-Gate* pode ser usado como uma estrutura para gerenciar e orientar o processo de desenvolvimento, dividindo-o em estágios e portões que permitem avaliação e tomada de decisão consistentes. Isso pode ajudar a garantir que o produto que está sendo desenvolvido atenda às necessidades do cliente e se alinhe com os objetivos estratégicos da empresa.

### **3. ABORDAGEM METODOLÓGICA**

#### **3.1 DESIGN SCIENCE RESEARCH – DSR COMO METODOLOGIA DE PESQUISA**

Refletida na aparência de desenvolvimento de soluções conformadas no processo de criação de artefatos úteis e geração de base de conhecimento, a abordagem *Design Science* se baliza como um campo teórico que ampara os pesquisadores na busca de soluções seja no campo da inovação total, incremental, aberta ou fechada e na melhoria de produtos ou tecnologias, desde que os efeitos sejam essencialmente úteis e melhores que os anteriores (SIMON, 1996). Assim, o *Design Science* investiga a geração de conhecimento no processo de concepção de artefatos, sendo o artefato um objeto artificial (DRECH, 2013). O método

utilizado é o *Design Science Research*, “abordagem metodológica prescritiva orientada à solução de problemas específicos do mundo real, por meio da construção e avaliação de artefatos (GUIMARÃES, 2009; DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015; COLLATTO *et al.*, 2018).

Segundo Van Aken (2005), o desenvolvimento do artefato deve ser um processo de busca que extrai de teorias e conhecimentos existentes material para se chegar à solução de um problema definitivo. O conjunto de conhecimento intrínseco ao processo pode ser separado em dois caracteres: a cultura de conhecimento do modo “1” que é genuinamente acadêmica e monodisciplinar; a produção no modo “2” que é multidisciplinar e visa resolver problemas de campos complexos e relevantes.

A tática para condução da pesquisa empregou como menção o chamado modelo do pêndulo, conforme proporcionado por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), e ilustrado na Figura 19. Os dois primeiros itens foram expostos no capítulo 1 do presente projeto de tese. A partir desse ponto, a pesquisa foi analisada quanto aos métodos científicos a adotar, o que veio a sedimentar o desígnio do método de pesquisa (LACERDA *et al.*, 2013).

Figura 19 - Módulo pêndulo para construção da pesquisa DSR



Fonte: adaptado de Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015)

Adicionalmente à identificação dos métodos científicos a utilizar, a classificação da pesquisa em relação à sua natureza, forma de abordagem do problema e classificação dos objetivos também tendem a contribuir para o delineamento do método de pesquisa. Em relação à natureza da pesquisa, pode-se dizer que ela é do tipo aplicada, tendo em vista que objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática orientada à solução de problemas específicos (CRESWELL; CRESWELL, 2021; DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015; GUIMARÃES, 2009).

Segundo Collatto *et al.*, (2018), o paradigma DSR foi vastamente discutido nos últimos anos e atualmente ganha terreno como um quadro teórico ou uma tática de pesquisa capaz de orientar tanto a edificação do conhecimento, quanto aperfeiçoar as práticas em sistemas de informação e de várias disciplinas relacionadas ao campo gerencial e tecnológico da ciência da informação. De acordo com Cronholm, e Göbel (2022) , avaliação do projeto empírico de DSR, destaca três implicações significativas para os gerentes de projeto que utilizam o DSR: operacionalização, compreensão e qualidade.

A aplicação da metodologia DSR pode ser vista em diversas áreas, como engenharia, gestão, tecnologia da informação e design. Ela é especialmente útil em situações em que os problemas estão mal definidos e não há uma solução pronta disponível. Para aplicar a metodologia DSR, é necessário seguir alguns passos. Primeiro, é preciso identificar e definir claramente o problema a ser abordado. Em seguida, é necessário realizar uma revisão da literatura existente para obter uma compreensão aprofundada do problema e das soluções existentes (LACERDA *et al.*, 2013).

Depois disso, é hora de projetar e desenvolver os projetos, que podem ser um sistema, um processo ou uma abordagem inovadora. Esses artefatos devem ser rigorosamente projetados e testados para garantir sua eficácia e utilidade. Finalmente, é necessário avaliar o artefato em um contexto real para entender seu impacto e valor. Isso pode envolver a implementação de artefatos em uma organização ou a realização de estudos de caso para coleta de dados e feedback dos usuários. A aplicação da metodologia DSR pode trazer benefícios significativos, como a criação de soluções inovadoras para problemas complexos, a melhoria dos processos existentes e o avanço do conhecimento em determinada área (CRONHOLM; GÖBEL, 2022).

O mapeamento do processo da DSR, ou *Design Science Research*, é uma etapa fundamental na aplicação dessa metodologia. O objetivo do mapeamento é identificar e documentar todas as etapas e atividades envolvidas no desenvolvimento e avaliação dos objetivos propostos. O processo de mapeamento do DSR pode variar dependendo do contexto e dos objetivos específicos do projeto de pesquisa (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015). No entanto, geralmente envolve as seguintes etapas:

1. **Identificação do problema:** Nesta etapa, o pesquisador define claramente o problema a ser abordado com a DSR. Isso envolve uma revisão da literatura existente e a compreensão das lacunas no conhecimento atual. O pesquisador estabelece os objetivos do projeto, que podem incluir a criação de um novo artefato, a melhoria de um processo existente ou a validação de uma teoria.

2. **Definição dos resultados esperados:** Nesta etapa, o pesquisador define o escopo do projeto, define os recursos necessários e estabelece um cronograma para as atividades de pesquisa.
3. **Desenvolvimento:** Esta etapa envolve o design e a implementação dos artigos propostos. Isso pode incluir o desenvolvimento de software, a criação de um processo ou a concepção de um produto.
4. **Demonstração e avaliação do artefato:** Os artefatos são testados e avaliados em um contexto real para determinar a sua eficácia e utilidade. Isso pode envolver a coleta de dados quantitativos e qualitativos, a realização de experimentos ou estudos de caso e a obtenção de feedback dos usuários. Com base nos resultados da avaliação, os tratados podem ser refinados e aprimorados. Isso pode envolver modificações no design, alterações no processo ou ajustes nas funcionalidades.
5. **Comunicação:** Os resultados do projeto de pesquisa são documentados em um relatório ou artigo científico. Além disso, eles podem ser apresentados em conferências ou publicados em revistas acadêmicas para compartilhar o conhecimento e contribuir para a comunidade científica.

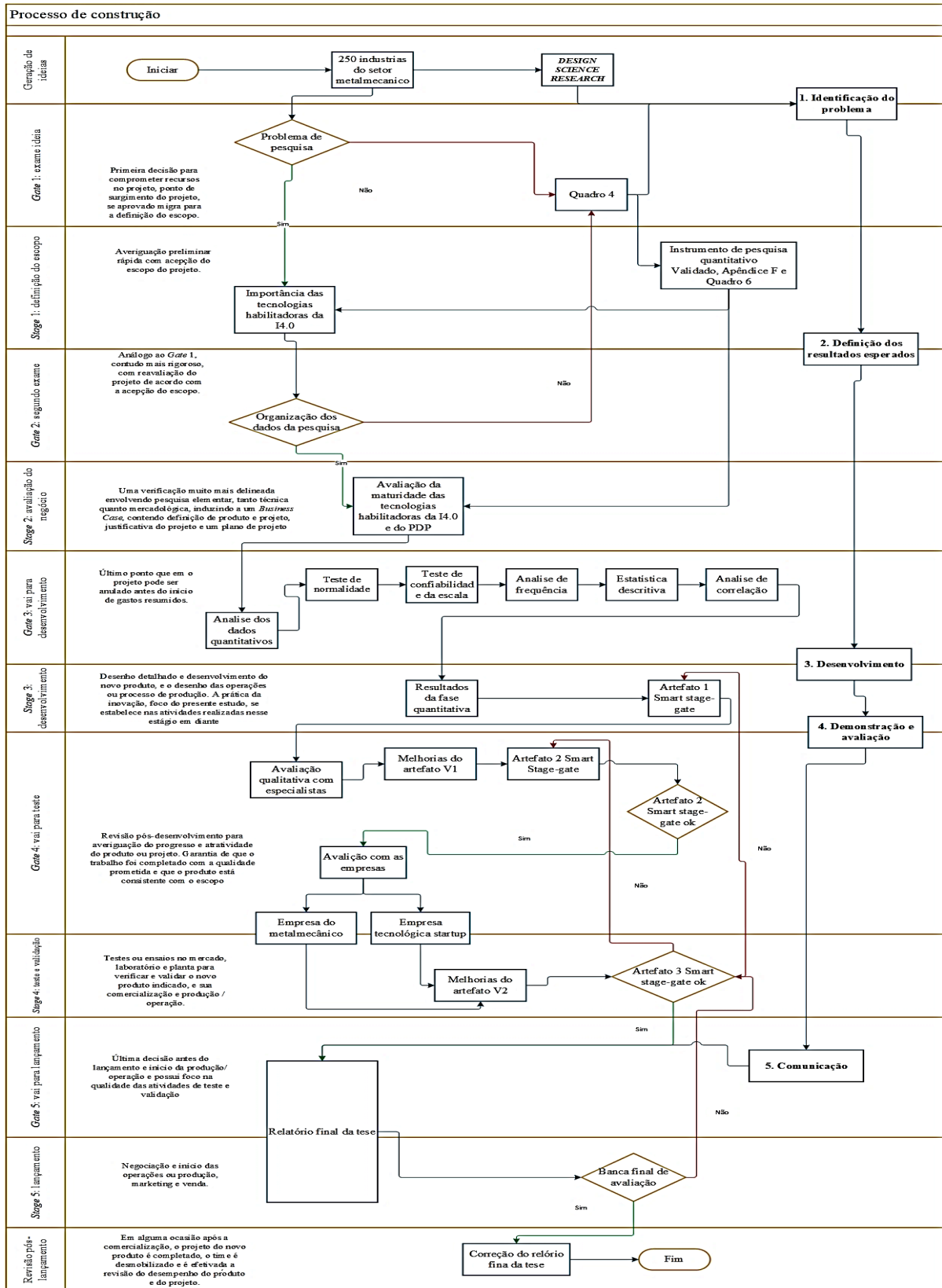
O mapeamento do DSR (*Design Science Research*) oferece diversas vantagens, como o desenvolvimento de soluções práticas e aplicáveis, incentivo à inovação e criação de conhecimento, colaboração multidisciplinar, validação empírica, aprendizado contínuo e relevância para a prática profissional (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

Essas vantagens tornam a metodologia DSR valiosa para abordar problemas reais e desenvolver soluções inovadoras em diferentes áreas. A Figura 20 mostra o mapeamento do DSR da tese. Para o processo de mapeamento utilizou-se *software* Visio. O Microsoft Visio é um software de diagramação para o ambiente Windows. Ele permite que os usuários criem uma variedade de diagramas, incluindo organogramas, fluxogramas, diagramas de rede, plantas baixas, diagramas UML<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Diagramas UML são uma linguagem de modelagem visual usada para descrever sistemas orientados a objetos.

Figura 20 - Processo de mapeamento de construção da tese



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

### 3.1.1 Abordagem multi método de pesquisa

Para a estruturação do design da pesquisa, foi empregado o método misto, que também é descoberto na literatura como multi método, convergência, conexo e ajustado, aplicando coleta de dados associada às duas formas (quantitativa e qualitativa). Dentro de cada paradigma, as metodologias podem ser empregadas de forma mista, e o pesquisador pode ajustar com responsabilidade as abordagens qualitativa e quantitativa (CRESWELL; CRESWELL, 2021). Nas seções destinadas à especificação das fases qualitativa e quantitativa do estudo, estes métodos serão detalhados e seu contexto para a pesquisa proposta.

#### 3.1.1.1 Método quantitativo de pesquisa

Segundo Creswell e Creswell (2021), a pesquisa quantitativa é sobreposta na concretização de pesquisas sociais, econômicas, comunicação, mercadológicas e administrativas. É uma pesquisa unida à investigação empírico-descritiva, quando se busca descobrir e qualificar a relação entre as variáveis, as analogias de causa e efeito entre os diferentes fenômenos (HAIR, 2009). Estudos de campo quantitativos guiam-se por um modelo de pesquisa onde o pesquisador parte de quadros conceituais de referência tão bem estruturados quanto possível, a partir dos quais formula hipóteses sobre os fenômenos e casos que quer estudar (CRESWELL; CRESWELL, 2021; SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2014).

A fase quantitativa está relacionada ao objetivo específico 1: avaliar a maturidade da indústria 4.0 no contexto da empresa estudada. Tendo como referência as principais escalas de maturidade da indústria 4.0 especificadas através da revisão de integrativa de literatura (COOPER, 1984; LANZONI; MEIRELLES, 2011), que está apresentada no **Apêndice “D”** este processo foi dividido em 3 fases (Figura 13): **fase 1 identificação**, foi a busca na base de dados *Scopus*, por 15 documentos sobre modelos de maturidade aplicados na indústria 4.0; **a fase 2 triagens**, foi feita a leitura dos resumos, método de pesquisa e conclusões dos artigos. Formulou-se dois critérios para avaliação dos artigos onde o **critério 1** é denominado de **inclusão**, para documentos que apresentem escalas e níveis de maturidade e o **critério 2** é denominado de **exclusão** artigos que não apresentam escalas e níveis de maturidade. Houve 10 artigos da base *Scopus* que não atenderam o critério 1 e foram excluídos da amostra N= 15. Para atender o critério 1 foi adicionado às bases de dados: *Science direct* com a inclusão de 3 documentos, *Springer* com 7 documentos e *Google acadêmico* com 2 documentos. No total a amostra final para revisão ficou em N= 17 documentos.

Como resultado obtido foi levantado 17 escalas de maturidade da indústria 4.0 para seleção e aplicação na empresa. Segundo Zapata *et al.*, (2020), indica que as organizações observam que não possuem os elementos para deliberar o estado atual do seu processo de transformação, e como tal, os modelos de maturidade digital já existentes, bem como os dados incluídos nesses modelos, são elementos importantes para apoiar as organizações no processo de transformação digital.

Uma aplicação de maturidade é o modelo de Weber *et al.*, (2017), M2DDM - modelo de maturidade para manufatura baseada em dados, o propósito do estudo foi um modelo de maturidade para arquiteturas de TI para fabricação baseada em dados. O modelo de maturidade avalia a integração entre os componentes da cadeia de valor envolvendo o ciclo de vida do produto, sua contribuição é avaliação da maturidade da integração vertical/horizontal, contemplando toda a cadeia de valor e o ciclo de vida do produto. Para sintetizar alguns modelos de maturidade da indústria 4.0 foi apresentado no Quadro 4 com alguns modelos levantados no **Apêndice “D”**.

Quadro 4 - Resumo de estudos e suas respectivas escalas de maturidade da I4.0

Estudo	Escalas de maturidade
Nakano <i>et al.</i> , (2021)	0 - Despreparado 1 - Definido 2 - Alinhado 3 - Organizado 4 - Adaptado
Santos e Martinho (2019)	0 - Baixo ou nenhum grau de implementação 1 - Ações piloto em planejamento 2 - Implementação das ações iniciadas 3 - Implementação parcial de ações 4 - Implementação avançada de ações 5 - Referência na aplicação dos conceitos
Bibby e Dehe, (2018)	1 - Mínimo 2 - Desenvolvimento 3 - Definido 4 - Excelência
Schuh <i>et al.</i> , (2017)	1 - Informatização 2 - Conectividade 3 - Visibilidade 4 - Transparência 5 - Previsibilidade 6 - Adaptabilidade
Ganzarain e Errasti, (2016)	1 - Detalhado 2 - Transforma 3 - Definido 4 - Gerenciado 5 - Inicial
Linchtblau <i>et al.</i> , (2015)	1 - Executante 2 - Especialista 3 - Experiente

	4 - Intermediário 5 - Iniciante 6 - Estranho
Halper e Krish. (2014)	1 - Pré-adoção 2 - Adoção 3 - Adoção antecipada 4 - Adoção corporativa 5 - Visionário
Newman e Logan, (2008)	1 - Inconsciente 2 - Consciente 3 - Reativo 4 - Proativo 5 - Gerenciado 6 - Efetivo

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Aplicação da escala de maturidade foi por meio de uma *survey*. A *Survey* é um procedimento investigativo vastamente usado pelas pesquisas quantitativas, talvez seja o método mais experimentado e amplamente usado na esfera acadêmica e que pode gerar informações complexas de serem obtidas através de qualquer outro método (FREITAS *et al.*, 2000).

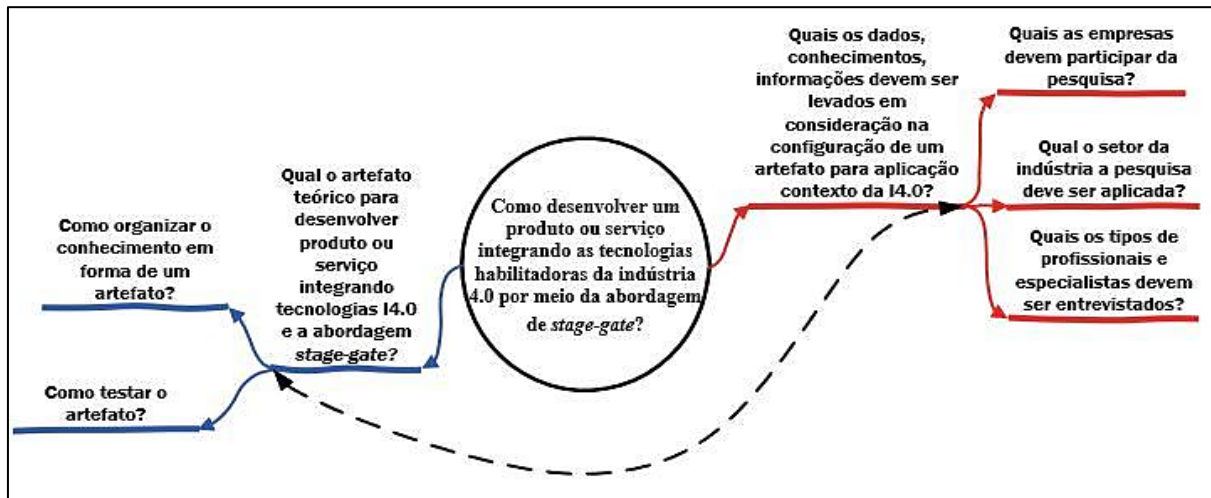
Na área de ciências sociais aplicadas as pesquisas não estão isentas de erros; que o estudo por amostras só deve ser alcançado depois de ser garantido que a informação não poderá ser adquirida de outras formas, senão tendo como fonte as pessoas; e que diferentes problemas solicitam diferentes desenhos de *survey*. A investigação por meio de amostras reúne essencialmente três passos: Amostragem, formulação de perguntas aos sujeitos e coleta de dados. Ressalta-se que o relato atento dos procedimentos – passo a passo – que foram empregados na *survey*. (ROWLEY, 2014). A *survey* para este projeto terá uma escala *Likert* de 1 a 5 pontos (DEVELLIS; THORPE, 2021).

### 3.2 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Tendo em vista a revisão de literatura e os delineamentos metodológicos, o problema e os subproblemas da pesquisa ficaram definidos de acordo com a Figura 19.



Figura 21 - Esquema conceitual do problema principal e subproblemas da pesquisa



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

As respostas às problemáticas serão cultivadas ao longo da aplicação das ferramentas metodológicas dentro do método de pesquisa escolhido que é o *Design Science Research* (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Conforme já foi elucidado na seção anterior, tal método de pesquisa tem como enfoque a construção de artefatos teóricos que podem ser úteis para diferentes desígnios e, portanto, entendeu-se pertinente dentro do contexto do objeto de estudo dessa pesquisa. Assim, os subproblemas e a resolução deles foram se estendendo a partir da conscientização inicial do problema (LACERDA *et al.*, 2013). Após a visualização dos itens que destoam do problema central, a pesquisa começou a ser direcionada em itens a fim de proporcionar respostas a todas as questões elencadas.

### 3.2.1 Conscientização do problema e definição do escopo

Tendo em vista o referencial teórico contido no Capítulo 2 deste documento, destacam-se determinadas considerações relacionadas que convieram como pontos de partida para a concepção do artefato que se desejava construir na presente pesquisa. A revisão de literatura foi pertinente para entender o ponto de partida da abordagem do artefato que seria arquitetado na pesquisa.

Nesse sentido destacam-se os seguintes tópicos de pesquisa a busca na base de dados de teses e dissertações do Brasil - BDTD onde não apresentou nenhum trabalho, a busca na base de teses e dissertações internacionais – ND LTD, onde foi achado um 1 único documento de pesquisa sendo ele uma dissertação que está localizado no **Apêndice “A”**.

A revisão integrativa de literatura sobre levantamento dos estudos relacionados à indústria 4.0 com os modelos similares ao modelo *Stage-gate* apresentou 35 artigos no total da busca em 4 bases de dados para a revisão de literatura excluíram-se 10 artigos ficando 25 artigos para leitura apresentado no **Apêndice “E”**. Das leituras realizadas 4 artigos tiveram aderência com este projeto de pesquisa, mas não apresentaram de forma concreta e aplicada um artefato integrando as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 com modelo *Stage gate*.

A partir da identificação do problema vinculado ao objetivo geral e específicos veio a etapa de geração de ideias ou o portão 1 do processo *Stage-gate* seria a primeira decisão para comprometer recursos no projeto, ponto de surgimento do projeto, se aprovado migra para a definição do escopo. Averiguação preliminar rápida com definição do escopo do projeto (COOPER, 2008).

Quadro 5 - Escopo geral do projeto e a integração do processo *Stage-gate* e o DSR

Processo <i>Stage-gate</i>	Entregas da DSR	Validação do modelo integrado							
<p>1 - Definição do escopo</p> <table border="1"> <tr> <td>Portão 1: Exame das ideias</td> </tr> <tr> <td>Portão 2: Segundo exame</td> </tr> </table>	Portão 1: Exame das ideias	Portão 2: Segundo exame	<p>1- Identificação do problema</p> <table border="1"> <tr> <td>Relevância do tema de pesquisa</td> </tr> <tr> <td>Contextualização da pesquisa</td> </tr> <tr> <td>Justificativa acadêmica</td> </tr> <tr> <td>Justificativa prática</td> </tr> </table>	Relevância do tema de pesquisa	Contextualização da pesquisa	Justificativa acadêmica	Justificativa prática	<p>Bibliometria 1 documento na base ND LTD falando sobre I4.0 e o processo <i>Stage-gate</i>. <b>Apêndice “A”</b>. Dados do IBGE Dados da CNI Deloitte consultoria <i>Stage-gate</i> internacional Revisão da literatura</p>	
Portão 1: Exame das ideias									
Portão 2: Segundo exame									
Relevância do tema de pesquisa									
Contextualização da pesquisa									
Justificativa acadêmica									
Justificativa prática									
<p>2 – Avaliação do negócio</p> <table border="1"> <tr> <td>Portão 2: Segundo exame</td> </tr> <tr> <td>Portão 3: Vai para o desenvolvimento</td> </tr> </table>	Portão 2: Segundo exame	Portão 3: Vai para o desenvolvimento	<p>2 – Definição dos resultados esperados</p> <table border="1"> <tr> <td>Sirva como um diagnóstico para avaliar a maturidade e a importância da empresa no âmbito da indústria 4.0</td> </tr> <tr> <td>Apoiar o desenvolvimento de <i>smart products</i></td> </tr> </table>	Sirva como um diagnóstico para avaliar a maturidade e a importância da empresa no âmbito da indústria 4.0	Apoiar o desenvolvimento de <i>smart products</i>	<p>Principais escala de maturidade da indústria 4.0, <b>Apêndice “D”</b>. N= 17 documentos Estudos relacionados a indústria 4.0 com os modelos similares ao modelo <i>Stage-gate</i>. <b>Apêndice “E”</b> N= 25 documentos.</p>			
Portão 2: Segundo exame									
Portão 3: Vai para o desenvolvimento									
Sirva como um diagnóstico para avaliar a maturidade e a importância da empresa no âmbito da indústria 4.0									
Apoiar o desenvolvimento de <i>smart products</i>									
<p>3 – Desenvolvimento</p> <table border="1"> <tr> <td>Portão 3: Vai para o desenvolvimento</td> </tr> <tr> <td>Portão 4: Vai para o teste</td> </tr> </table>	Portão 3: Vai para o desenvolvimento	Portão 4: Vai para o teste	<p>3 – Projeto e desenvolvimento</p> <table border="1"> <tr> <td>Coleta dos dados</td> </tr> <tr> <td>Tratamento dos dados</td> </tr> <tr> <td>Proposta</td> </tr> <tr> <td>Tentativa</td> </tr> <tr> <td>Apresentar um protótipo da versão 1 onde os dados foram tratados a partir das análises quantitativas e qualitativas</td> </tr> </table>	Coleta dos dados	Tratamento dos dados	Proposta	Tentativa	Apresentar um protótipo da versão 1 onde os dados foram tratados a partir das análises quantitativas e qualitativas	<p>Cooper (1993, 2000, 2008, 2014) Cooper e Sumer (2016). <i>Stage-gate</i> internacional (2021) Guimarães (2009) Lacerda <i>et al.</i>, (2013) Rowley (2014) Yim (2015) Dresch; Lacerda; Júnior (2015) Collatto <i>et al.</i>, (2018).</p>
Portão 3: Vai para o desenvolvimento									
Portão 4: Vai para o teste									
Coleta dos dados									
Tratamento dos dados									
Proposta									
Tentativa									
Apresentar um protótipo da versão 1 onde os dados foram tratados a partir das análises quantitativas e qualitativas									

		Suportados pelos Apêndices “F”, “G” e “H” da pesquisa.
4 – Teste e validação  Portão 4: Vai para o teste Portão 5: Vai para o lançamento	4 – Demonstração e avaliação  Discussão e análise dos resultados derivados da coleta de dados Demonstração: O uso do artefato para solucionar o problema em questão Avaliação: Pesquisador deverá observar e medir como o artefato se comporta no sentido de solucionar o problema que está sendo estudado. Comparar os resultados adquiridos com a performance do artefato com o que havia sido definido como requisitos para a solução do problema. Resultado encontrado não seja o esperado, o pesquisador poderá regressar à etapa de projeto e desenvolvimento, a fim de desenvolver um novo artefato.	Cooper (1993, 2000, 2008, 2014) Cooper e Sumer (2016). <i>Stage-gate</i> international (2021) Guimarães (2009) Lacerda <i>et al.</i> , (2013) Rowley (2014) Dresch; Lacerda; Júnior (2015) Yim (2015) Collatto <i>et al.</i> , (2018).  Suportados pelos Apêndices “F”, “G” e “H” da pesquisa.
5 – Lançamento  Portão 5: Vai para o lançamento Revisão pós lançamento	5 – Comunicação  Essa atividade permite que o pesquisador informe tanto o problema que foi estudado como, também, sua importância. Ademais, é nessa fase que deverá ser apresentado o rigor com o qual a pesquisa foi conduzida, bem como o quão eficaz foi a solução encontrada para o problema. Conclusão do projeto de tese	Considerações finais Contribuições teóricas Contribuições gerenciais Limitações do estudo Estudos futuros

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

### 3.2.2 Instrumento de coleta de dados, validação e pré-teste

Para desempenhar os objetivos definidos neste projeto, foi disposto um questionário de pesquisa que será empregado como instrumento para a coleta dos dados. A preparação deste questionário é uma técnica estruturada para a coleta das informações, mesclada de vários questionamentos pertinentes à pesquisa, podendo ser por *survey* ou entrevistas *in loco*, que será respondida de maneira padronizada, pelos partícipes da pesquisa (HAIR, 2009; YIM, 2015)

As informações dispostas por meio do questionário servira para entender as relações viventes entre os construtos da pesquisa (HAIR, 2009; DEVELLIS; THORPE, 2021). Um questionário é empregado em busca de informações relevantes sobre os tópicos de pesquisa, compondo-se de um conjunto de indagações direcionadas no formato de questões a serem

respondidas (CRESWELL; CRESWELL, 2021; DEVELLIS; THORPE, 2021). Sendo assim, 3 construtos serão abordados, testados e apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Apresentação dos construtos da pesquisa

Construtos	Quantidade de Itens da Escala	Escala <i>Likert</i>	Autores
Importância da I4.0.	10	1. Não há importância; 2. Pouco importante; 3. Razoavelmente importante; 4. Importante; 5. Muito importante.	Saunders; Lewis; Thornhill, (2014) Fernandez; Barrero; Rojas, (2022) Tsang <i>et al.</i> , (2022) Creswell e Creswell, (2021) Devellis e Thorpe, (2021)
Nível utilitário da I4.0 e aplicação	50	1. Pré-Adoção despreparado; 2. Adoção planejamento e escopo; 3. Experimental e consciente; 4. Executante e proativo; 5. Adaptabilidade e referência.	Nakano <i>et al.</i> , (2021) Santos e Martinho (2019) Bibby e Dehe, (2018) Schuh <i>et al.</i> , (2017) Ganzarain e Errasti, (2016) Linchtblau <i>et al.</i> , (2015) Halper e Krish. (2014) Newman e Logan, (2008)
Processo de desenvolvimento de produto	6	1. Nunca; 2. Em minoria das vezes; 3. Às vezes; 4. Maior parte do tempo; 5. Sempre.	<i>Stage-gate</i> internacional (2021) Cooper et al. (2017) Cooper e Sumer (2016) Cooper (1993, 2000, 2008, 2014) Rosenfeld <i>et al.</i> , (2006)

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Para mensurar os construtos, será usada a escala intervalar do tipo *Likert* de cinco pontos, através do instrumento de pesquisa apresentado no “**Apêndice F**”. Para analisar a validade do conteúdo do questionário, os itens foram avaliados por três especialistas acadêmicos que são especialistas no campo de estudo da área do conhecimento em administração. Para tanto, a literatura sugere a estruturação de um painel de especialistas (*experts*) que deverão opinar e avaliar o instrumento de pesquisa (CRESWELL; CRESWELL, 2021).

O propósito da verificação de um instrumento de pesquisa é assegurar a exatidão da medida e apropriar a eficácia das indagações selecionadas para refletir uma construção específica. No início, foi escolhido realizar a validação de conteúdo, também denominado de validação nominal ou de *face*. O processo de validação de conteúdo é subjetivo, porém sistemático, em que se avalia até que ponto os construtos pesquisados representam todas as dimensões importantes (HAIR, 2009; DEVELLIS; THORPE, 2021).

A partir dessas perspectivas, as escalas (instrumento de coleta de dados) adotadas no presente estudo foram submetidas à avaliação dos seguintes especialistas com atuação acadêmica. O Quadro 7 apresenta o perfil dos especialistas.

Quadro 7 – Perfil dos especialistas, formação, tempo de atuação e organização que estão vinculados

<b>Especialista</b>	<b>Formação</b>	<b>Tempo de atuação na área</b>	<b>Organização</b>
1. Professor Doutor	Doutor em Administração pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUC, RS.	13 anos	Universidade de Caxias do Sul - UCS
2. Professora Doutora	Doutora em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS	14 anos	Universidade de Caxias do Sul - UCS
3. Professor Doutor	Doutor em Administração pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS	19 anos	Universidade de Caxias do Sul - UCS

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

O especialista 1 sugeriu adicionar subcategorias no construto “Nível utilitário da I4.0 e aplicação”, na aplicação conforme o “**Apêndice F**”, desta tese. Os especialistas também comentaram em fazer ajustes nas questões demográficas e no bloco 4 que fala desenvolvimento de produto nas empresas. Foi feito um formulário no *google forms* onde os especialistas poderiam colocar suas sugestões e críticas sobre o instrumento de pesquisa quantitativa. As sugestões também foram feitas na forma de áudios e salvas para a conferência do pesquisador.

O pré-teste foi feito com 13 empresas a nível Brasil em vários segmentos no período de Maio de 2023. A validação do questionário foi administrada a partir do pré-teste, com a finalidade de assegurar a precisão e a validade do instrumento. Um dos principais motivos do teste piloto é “reafirmar o questionário para que os entrevistados não contenham problemas para respondê-lo” e para obter estimativa da validade da pergunta e da provável confiabilidade dos dados que serão coletados (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2014).

### 3.3 DEFINIÇÃO DOS RESULTADOS ESPERADOS

A partir da identificação do problema a ser estudado, definem-se os objetivos a serem atingidos pelo desenvolvimento da solução. Os objetivos da pesquisa foram apresentados no

Capítulo 1 seguindo a metodologia de pêndulo desenvolvida por Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015).

O resultado esperado é uma prova de conceito de que o artefato ou “produto/serviço” integrando as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 por meio da abordagem de *Stage-gate*, sirva como um diagnóstico para avaliar a maturidade da empresa no âmbito da indústria 4.0. Inicialmente, será realizado o levantamento das partes interessadas “empresas” para aplicação e validação do artefato.

#### 4 PROJETO E DESENVOLVIMENTO

Nessa fase é desenvolvido o artefato que auxiliará na solução do problema que está sendo estudado. É fundamental que na etapa de projeto e desenvolvimento sejam definidas as funcionalidades almejadas para o artefato, qual será a sua arquitetura, bem como o desenvolvimento dele em si. Para isso, o pesquisador utilizou-se do conhecimento teórico existente, a fim de propor artefatos que tolerem a solução do problema apresentado no “Quadro 4” – Definição do escopo do projeto. (LACERDA *et al.*, 2013).

##### 4.1 COLETA DOS DADOS

A coleta dos dados e a aplicação do questionário ocorreram nos meses de maio a junho de 2023. Foi feito contato com 250 empresas pertencentes ao setor metalmeccânico da Serra Gaúcha do estado Rio Grande do Sul, Brasil, devidamente registradas no SIMECS. Para efetuar a coleta, o pesquisador contactou 155 empresas por telefone e 95 de forma presencial com questionário impresso solicitando uma conversa com os gestores da organização. Quando não era possível o contato diretamente com os gestores, solicitou-se seu outro contato para envio do questionário. A cada contato, foi efetuada uma explicação sobre a temática e a relevância do estudo em desenvolvimento, inclusive sobre a importância da colaboração das empresas na pesquisa.

##### 4.2 PREPARAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS QUANTITATIVOS

A qualidade dos resultados de uma análise estatística depende dos cuidados adotados na fase de preparação dos dados. Antes que os dados brutos oriundos dos questionários sejam analisados, eles devem ser colocados em um formato apropriado para evitar constatações

tendenciosas ou interpretações incorretas dos resultados estatísticos (MALHOTRA; NUNAN; BIRKS, 2017). Os dados foram tabulados no *google forms* e transferido para uma planilha (*software* Microsoft Excel). Seguindo os procedimentos de preparação da base de dados, foram analisados os casos relacionados aos dados perdidos (*missing values*) e às observações atípicas (*outliers*).

Hair, (2009), sendo que essas ações são aconselhadas e devem antecipar a aplicação de técnicas de análise estatística. Os (*missing values*) representam valores de uma variável que são desconhecidos, decorrentes de respostas confusas ou não registradas perfeitamente, não houve nenhum (*missing values*). No caso de (*outliers*) não se apresentou nenhum pelo motivo que a coleta foi *in loco*. Para tratamento dos dados e análise utilizou-se o *software* Jamovi e o Excel. Seguindo o entendimento de Hair (2009), deve-se inicialmente analisar criticamente os dados “frequências, analisar as médias, desvios padrões, assimetrias e curtoses para as variáveis, mesmo elas sendo compostas de escalas intervalares”.

Conseqüentemente a análise descritiva dos dados foi feita uma análise de correlação que segundo Saunders, Lewis e Thornhill, (2014) é possível averiguar a existência e a intensidade da relação entre duas variáveis complexas em um estudo por meio da análise de correlação. A fim de constatar essa relação entre as variáveis do estudo, utiliza-se o coeficiente de Correlação de Pearson ( $r$ ), conforme a equação 1. Os valores obtidos para o coeficiente de correlação linear de Pearson variam entre -1 e +1. Segundo Hair (2009) se positivo, as duas variáveis proporcionam uma relação direta (quanto maior o valor de uma variável, maior o valor da outra). Caso o coeficiente de Pearson seja negativo há uma relação inversa. Por fim, um valor chegado de zero indica que não há uma associação linear entre as duas variáveis. A Figura 22 apresenta a equação.

Figura 22 - Equação da correlação de Person

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2][\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]}}$$

Fonte: Hair (2009)

Então:

- ✓  $n$  é o número de pares de observações (“duplas” formadas de X e Y);
- ✓  $X_i$  é a observação  $i$  da variável X;
- ✓  $Y_i$  é a observação  $i$  da variável Y;

✓  $\bar{X}$  é a média dos valores de  $X_i$ ;

✓  $\bar{Y}$  é a média dos valores de  $Y_i$ .

De acordo com Hair (2009), afirma que o coeficiente de Pearson fornece uma medida do grau de correlação linear existente entre as variáveis em uma amostra. Para examinar se a associação obtida entre  $X$  e  $Y$  verdadeiramente existe na população é imprescindível testar a significância do coeficiente  $r$  descoberto. Dessa forma, são colocadas as seguintes hipóteses:

a) Hipótese nula ( $H_0$ ): não existe correlação na população, ou seja,  $r = 0$ ;

b) Hipótese alternativa ( $H_1$ ): existe correlação na população, isto é,  $r \neq 0$ .

Segundo Saunders, Lewis e Thornhill, (2014), a significância estatística é um artifício para se examinar a discrepância de uma hipótese e é medida pelo valor  $p$ . Logo, quanto mais alto o valor  $p$ , menos se pode confiar na relação entre as variáveis. Pode-se dizer que o resultado é estatisticamente significativo quando o valor  $p$  é menor que o nível de significância  $\alpha$  que neste estudo foi fixado em 0,05.

#### 4.3 TESTE DE NORMALIDADE DOS DADOS E OPERACIONALIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Em estatística, um teste de normalidade é um teste estatístico usado para determinar se um conjunto de dados é normalmente distribuído. Uma distribuição normal é uma distribuição de probabilidade contínua que tem uma forma de sino e é simétrica em torno da média. A maioria dos testes estatísticos assume que os dados são normalmente distribuídos, por isso é importante verificar se os dados são normalmente distribuídos antes de usar um teste estatístico (MALHOTRA; NUNAN; BIRKS, 2017; HAIR, 2009, 2014).

O teste de Shapiro-Wilk calcula uma estatística, que é uma medida da distância entre os dados e uma distribuição normal. A estatística é então comparada a um valor crítico, que é determinado pelo nível de significância do teste. Se a estatística for maior que o valor crítico, a hipótese nula de normalidade é rejeitada (KLINE, 2023; HAIR, 2009).

A operacionalização de variáveis é o processo de definir e medir variáveis de pesquisa de forma clara e precisa. É um passo importante em qualquer pesquisa, pois ajuda a garantir que os dados coletados sejam relevantes para o estudo e que possam ser analisados de forma confiável. Para operacionalizar uma variável, é necessário primeiro definir o que significa (Tabela 1; Tabela 2; Tabela 3) nas próximas seções.



Isso pode ser feito fornecendo uma definição operacional, que é uma descrição clara e precisa de como a variável será medida. A operacionalização de variáveis é uma parte essencial de qualquer da pesquisa. Ao definir e medir suas variáveis de forma clara e precisa, você pode garantir que seus dados sejam relevantes para seu estudo e que possam ser analisados de forma confiável (MALHOTRA; NUNAN; BIRKS, 2017).

#### 4.3.1 Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de importância (IMP)

A indústria 4.0 é uma revolução industrial que está transformando a forma como as empresas produzem bens e serviços. Ela é impulsionada por um conjunto de tecnologias habilitadoras, como a internet das coisas (IoT), big data, inteligência artificial (IA), robótica e manufatura aditiva. Essas tecnologias estão permitindo que as empresas se tornem mais eficientes, flexíveis e personalizadas. Elas também estão ajudando as empresas a reduzir custos, melhorar a qualidade e aumentar a produtividade. A importância das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 foi medida em uma escala Likert de 1 a 5, onde 1 “Não há importância” e 5 é “Muito importante”. A Tabela 1 mostra o teste de normalidade e operacionalização das variáveis de importância.

Tabela 1 – Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de importância

<i>Tecnologia habilitadora</i>	<i>Operacionalização das variáveis</i>						<i>Shapiro-Wilk</i>	
	<i>Variáveis</i>	<i>N</i>	<i>Missing</i>	<i>Median</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
<i>Realidade aumentada</i>	<i>IMP RA</i>	250	0	2.00	1	4	0.817	<.001
<i>Segurança da informação</i>	<i>IMP Seg inf</i>	250	0	3.00	1	5	0.888	<.001
<i>Internet das coisas</i>	<i>IMP IOT</i>	250	0	1.00	1	4	0.702	<.001
<i>Computação em nuvem</i>	<i>IMP Comp nuv</i>	250	0	3.00	1	5	0.817	<.001
<i>Sistemas integrados</i>	<i>IMP Sist int</i>	250	0	3.00	1	5	0.822	<.001
<i>Manufatura aditiva</i>	<i>IMP Manuf ad</i>	250	0	1.00	1	5	0.706	<.001
<i>Simulação</i>	<i>IMP Simul</i>	250	0	3.00	1	5	0.911	<.001
<i>Robôs autônomos</i>	<i>IMP Rob aut</i>	250	0	1.00	1	5	0.720	<.001
<i>Big Data</i>	<i>IMP Big data</i>	250	0	1.00	1	3	0.646	<.001
<i>Gêmeos digitais</i>	<i>IMP Gem dig</i>	250	0	1.00	1	4	0.706	<.001

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

O teste de Shapiro-Wilk é um teste útil para verificar se uma amostra de dados é normalmente distribuída. O teste pode ser usado para escolher um teste estatístico apropriado ou para tomar decisões sobre os dados. Segundo Royston (1992) o valor p do teste de Shapiro-Wilk é a probabilidade de obter uma estatística pelo menos tão extrema quanto a estatística

observada, assumindo que a hipótese nula é verdadeira. Se o valor p for menor que o nível de significância, a hipótese nula de normalidade é rejeitada. Isso significa que os dados não são normalmente distribuídos. Se o valor p for maior que o nível de significância, a hipótese nula de normalidade não é rejeitada. Isso significa que os dados são compatíveis com uma distribuição normal. Os dados das variáveis deram um p de  $< .001$  de acordo com Hair (2009) um valor p de  $< 0,05$  é considerado significativo, e um valor p de  $< 0,01$  é considerado altamente significativo.

#### 4.3.2 Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de utilização e aplicação (UTL)

Quanto a variáveis de utilização e aplicação estão divididas pelas 10 tecnologias habilitadoras avaliadas neste estudo divididas em cinco tipos de aplicação em uma escala *Likert* de 1 “Pré-adoção despreparado” até 5 “Adaptabilidade e referência”. A Tabela 2 mostra o teste de normalidade e operacionalização das variáveis utilização.

Tabela 2 – Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de utilização

<i>Tecnologia habilitadora</i>	<i>Operacionalização das variáveis</i>				<i>Shapiro-Wilk</i>	
	<i>Aplicação</i>	<i>Variável</i>	<i>N</i>	<i>Missing</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
<i>Realidade Aumentada</i>	Treinamento	<i>UTL RA trein</i>	250	0	0.394	$< .001$
	Manutenção	<i>UTL RA Mant</i>	250	0	0.294	$< .001$
	Controle de qualidade	<i>UTL RA Cq</i>	250	0	0.322	$< .001$
	Projetos	<i>UTL RA Proj</i>	250	0	0.441	$< .001$
	Processos	<i>UTL RA Proc</i>	250	0	0.477	$< .001$
	Treinamento	<i>UTL RA trein</i>	250	0	0.887	$< .001$
<i>Segurança da informação</i>	Criptografia	<i>UTL SEG INF Cript</i>	250	0	0.897	$< .001$
	Firewalls	<i>UTL SEG INF Firw</i>	250	0	0.838	$< .001$
	Antivírus	<i>UTL SEG INF Antv</i>	250	0	0.708	$< .001$
	Gestão de identidade e acesso	<i>UTL SEG INF Gia</i>	250	0	0.699	$< .001$
	Análise de segurança em tempo real	<i>UTL SEG INF Asegtr</i>	250	0	0.560	$< .001$
<i>Internet das coisas IOT</i>	Redes de sensores sem fio	<i>UTL IOT Rsf</i>	250	0	0.540	$< .001$
	Bluetooth	<i>UTL IOT Blth</i>	250	0	0.697	$< .001$
	Wi-Fi	<i>UTL IOT Wi-Fi</i>	250	0	0.355	$< .001$
	Protocolo de Comunicação MQTT	<i>UTL IOT Mqtt</i>	250	0	0.295	$< .001$
	Tecnologia RFID	<i>UTL IOT Rfid</i>	250	0	0.814	$< .001$
<i>Computação em nuvem</i>	Armazenamento	<i>UTL NUV Armaz</i>	250	0	0.619	$< .001$
	Infraestrutura como serviço (IaaS)	<i>UTL NUV IaaS</i>	250	0	0.676	$< .001$
	Plataforma como serviço (PaaS)	<i>UTL NUV PaaS</i>	250	0	0.776	$< .001$
	Software como serviço (SaaS)	<i>UTL NUV SaaS</i>	250	0	0.790	$< .001$
	Computação sem servidor (serverless)	<i>UTL NUV Serverless</i>	250	0	0.802	$< .001$
	ERP (Enterprise Resource Planning)	<i>UTL SIST INT Erp</i>	250	0	0.578	$< .001$

<b>Sistemas integrados</b>	SCM (Supply Chain Management)	<i>UTL SIST INT Scm</i>	250	0	0.793	< .001
	CRM (Customer Relationship Management)	<i>UTL SIST INT Crm</i>	250	0	0.370	< .001
	MES (Manufacturing Execution System)	<i>UTL SIST INT Mes</i>	250	0	0.843	< .001
	Sistemas de gestão de projetos	<i>UTL SIST INT Gestproj</i>	250	0	0.725	< .001
<b>Manufatura aditiva</b>	Prototipagem	<i>UTL MAN AD Prot</i>	250	0	0.732	< .001
	Fabricação de modelos e moldes para fabricação	<i>UTL MAN AD Fabmod</i>	250	0	0.227	< .001
	Impressão de peças de reposição para equipamentos e máquinas	<i>UTL MAN AD Reppec</i>	250	0	0.214	< .001
	Impressão de peças complexas e componentes estruturais	<i>UTL MAN AD Peçcomp</i>	250	0	0.165	< .001
	Impressão de modelos arquitetônicos	<i>UTL MAN AD Peçarq</i>	250	0	0.821	< .001
<b>Simulação</b>	CAD (Projeto e desenho assistidos por computador)	<i>UTL SIMUL Cad</i>	250	0	0.833	< .001
	CAM (Manufatura assistida por computador)	<i>UTL SIMUL Cam</i>	250	0	0.610	< .001
	Ansys	<i>UTL SIMUL Ansys</i>	250	0	0.498	< .001
	Arena	<i>UTL SIMUL Arena</i>	250	0	0.511	< .001
	FlexSim	<i>UTL SIMUL Flexsim</i>	250	0	0.221	< .001
<b>Robôs autônomos</b>	Robôs colaborativos móveis	<i>UTL ROBOS Colmov</i>	250	0	0.137	< .001
	Robôs colaborativos de carga pesada	<i>UTL ROBO Cargpes</i>	250	0	0.530	< .001
	Robôs colaborativos de montagem	<i>UTL ROBOS Colmont</i>	250	0	0.660	< .001
	Robôs colaborativos fixos	<i>UTL ROBOS Fix</i>	250	0	0.255	< .001
	Robôs colaborativos de inspeção	<i>UTL ROBOS Insp</i>	250	0	0.218	< .001
<b>Big data</b>	Hadoop	<i>UTL BIG DATA Hadoop</i>	250	0	0.318	< .001
	Spark	<i>UTL BIG DATA Spark</i>	250	0	0.356	< .001
	NoSQL	<i>UTL BIG DATA NoSQL</i>	250	0	0.322	< .001
	MapReduce	<i>UTL BIG DATA MapReduce</i>	250	0	0.218	< .001
	Elasticsearch	<i>UTL BIG DATA Elasticsearch</i>	250	0	0.538	< .001
<b>Gêmeos digitais</b>	Processo de produção	<i>UTL GEMDIG Procprod</i>	250	0	0.466	< .001
	Previsão de falhas	<i>UTL GEMDIG Prevfalh</i>	250	0	0.319	< .001
	Manutenção preventiva	<i>UTL GEMDIG Mantprev</i>	250	0	0.335	< .001
	Previsão de desgastes de peças	<i>UTL GEMDIG Desgpec</i>	250	0	0.591	< .001
	Modelos virtuais de produtos	<i>UTL GEM DIG Modvirprod</i>	250	0	0.394	< .001

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Os dados das variáveis de utilização e aplicação ofereceram um p de  $< .001$  de acordo com Hair (2009) um valor p de  $< 0,05$  é considerado significativo, e um valor p de  $< 0,01$  é considerado altamente significativo (KLINE, 2023).

#### 4.3.3 Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de processo de desenvolvimento de produto (PDP)

Quanto a variáveis e processo de desenvolvimento de produto estão divididas em seis variáveis que abordam: modelo de referências, satisfação do cliente, prazo de entrega do produto, capacidades técnicas de cada profissional de desenvolvimento de produto, integração entre as áreas: comercial, manufatura, engenharia, qualidade e a área de desenvolvimento de produtos e funcionalidades presentes nos produtos o em uma escala *Likert* de 1 “Nunca” até 5 “Sempre”. A Tabela 3 mostra o teste de normalidade e operacionalização das variáveis PDP.

Tabela 3 – Teste de normalidade e operacionalização das variáveis de PDP

<i>PDP</i>	<i>Variáveis</i>	<i>Operacionalização das variáveis</i>					<i>Shapiro-Wilk</i>	
		<i>N</i>	<i>Missing</i>	<i>Median</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>W</i>	<i>p</i>
<i>Modelo de referência</i>	<i>PDP Modref</i>	250	0	4.00	1	5	0.671	$< .001$
<i>Satisfação dos clientes</i>	<i>PDP Cliensatsdes</i>	250	0	4.00	3	5	0.540	$< .001$
<i>Prazo de entrega</i>	<i>PDP Produtpraz</i>	250	0	4.00	2	5	0.531	$< .001$
<i>Des. capacidades técnicas dos profis.</i>	<i>PDP Produtcaptec</i>	250	0	2.00	1	5	0.811	$< .001$
<i>Integração entre áreas</i>	<i>PDP Intarea</i>	250	0	4.00	2	5	0.563	$< .001$
<i>Func. presentes no produto</i>	<i>PDP Funcpres</i>	250	0	2.00	1	4	0.870	$< .001$

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Os dados das variáveis de processo de desenvolvimento de produto ofereceram um p de  $< .001$  de acordo com Hair (2009) um valor p de  $< 0,05$  é considerado significativo, e um valor p de  $< 0,01$  é considerado altamente significativo (KLINE, 2023).

#### 4.3.4 Teste de confiabilidade da escala

O alfa de Cronbach é uma medida de consistência interna, o que significa que mede a extensão em que os itens de uma escala estão correlacionados uns com os outros. Um alfa de

Cronbach alto indica que os itens da escala estão consistentemente medindo o mesmo conceito. Segundo Hair (2009) um alfa de Cronbach baixo indica que os itens da escala não estão consistentemente medindo o mesmo conceito.

O alfa de Cronbach pode ser calculado usando a seguinte fórmula:

$$\alpha = (k - 1) / (k - 1) * S^2_t / S^2_w$$

Onde:

- a) k é o número de itens na escala.
- b)  $S^2_t$  é a variância total dos itens da escala.
- c)  $S^2_w$  é a variância dos erros da medição.

A variância total dos itens da escala é a soma das variâncias de cada item da escala. A variância dos erros da medição é a soma das variâncias de todos os erros de medição na escala.

O alfa de Cronbach pode ser interpretado como a porcentagem da variância total dos itens da escala que é explicada pela variância dos erros da medição. Um alfa de Cronbach alto indica que a maior parte da variância total dos itens da escala é explicada pela variância dos erros da medição. Um alfa de Cronbach baixo indica que apenas uma pequena parte da variância total dos itens da escala é explicada pela variância dos erros da medição (KLINE, 2023; HAIR, 2009).

O alfa de Cronbach é uma medida útil para avaliar a confiabilidade de uma escala. Um alfa de Cronbach alto indica que a escala é confiável e que os itens da escala estão consistentemente medindo o mesmo conceito. Um alfa de Cronbach baixo indica que a escala não é confiável e que os itens da escala não estão consistentemente medindo o mesmo conceito Hair (2009, 2014).

Aqui estão alguns valores de alfa de Cronbach e suas interpretações:

- a) 0,90 ou superior: Excelente confiabilidade;
- b) 0,80-0,89: Boa confiabilidade;
- c) 0,70-0,79: Confiabilidade aceitável;
- d) 0,60-0,69: Confiabilidade baixa;
- e) 0,50-0,59: Confiabilidade muito baixa;
- f) 0,49 ou inferior: Confiabilidade inaceitável.

É importante observar que o alfa de Cronbach não é uma medida perfeita de confiabilidade. Ele pode ser afetado por vários fatores, como o número de itens na escala, a dificuldade dos itens na escala e a distribuição das respostas dos respondentes. A análise de confiabilidade da escala a nível global ficou em 0,955 o que indica excelente confiabilidade. A Tabela 4 mostra índice de confiabilidade por cada variável (KLINE, 2023; HAIR, 2009).

Tabela 4 – Índice de confiabilidade por cada variável

<i>Variáveis</i>	<i>Alfa de Cronbach por item da escala</i>
IMP RA	0.953
IMP Seg inf	0.954
IMP IOT	0.954
IMP Comp nuv	0.954
IMP Sist int	0.954
IMP Manuf ad	0.954
IMP Simul	0.954
IMP Rob aut	0.954
IMP Big data	0.954
IMP Gem dig	0.954
UTL RA trein	0.954
UTL RA Mant	0.955
UTL RA Cq	0.955
UTL RA Proj	0.954
UTL RA Proc	0.954
UTL SEG INF Cript	0.954
UTL SEG INF Firw	0.954
UTL SEG INF Antv	0.955
UTL SEG INF Gia	0.954
UTL SEG INF Asegtr	0.954
UTL IOT Rsf	0.954
UTL IOT Blth	0.954
UTL IOT Wi-Fi	0.956
UTL IOT Mqtt	0.955
UTL IOT Rfid	0.955
UTL NUV Armaz	0.954
UTL NUV IaaS	0.954
UTL NUV PaaS	0.954
UTL NUV SaaS	0.955
UTL NUV Serverless	0.954
UTL SIST INT Erp	0.954
UTL SIST INT Scm	0.954
UTL SIST INT Crm	0.954
UTL SIST INT Mes	0.954
UTL SIST INT Gestproj	0.954
UTL MAN AD Prot	0.955
UTL MAN AD Fabmod	0.954
UTL MAN AD Reppeç	0.955
UTL MAN AD Peçcomp	0.955
UTL MAN AD Peçaraç	0.955
UTL SIMUL Cad	0.954
UTL SIMUL Cam	0.955
UTL SIMUL Ansys	0.953
UTL SIMUL Arena	0.954
UTL SIMUL Flexsim	0.954
UTL ROBOS Colmov	0.955
UTL ROBO Cargpes	0.955
UTL ROBOS Colmont	0.955
UTL ROBOS Fix	0.954
UTL ROBOS Insp	0.955
UTL BIG DATA Hadoop	0.955
UTL BIG DATA Spark	0.955
UTL BIG DATA NoSQL	0.955
UTL BIG DATA MapReduce	0.955
UTL BIG DATA Elasticsearch	0.955
UTL GEMDIG Procprod	0.954
UTL GEMDIG Prevfalh	0.954
UTL GEMDIG Mantprev	0.954
UTL GEMDIG Desgpec	0.954
UTL GEM DIG Modvirprod	0.953

PDP Modref	0.956
PDP Cliensatsdes	0.955
PDP Produtpraz	0.956
PDP Produtcaptec	0.954
PDP Intarea	0.956
PDP Funcpres	0.958

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Todos os alfas ficaram acima de 0,90 isto indica que excelente confiabilidade nos dados da pesquisa (HAIR, 2009, 2014).

#### 4.3.5 Avaliação com os especialistas e demais *stakeholders*

A consulta com especialistas se deu através da prototipagem da V1 do artefato e da validação do instrumento de coleta de dados de pesquisa. A busca foi feita na base de dados do CNPQ<sup>9</sup> onde se busca por grupos de pesquisa sobre o tema da indústria 4.0. Como critério de inclusão serão grupos de pesquisa cadastrados no CNPQ, e critérios de exclusão.

Os *stakeholders* são todos os grupos de pessoas envolvidos no estudo que podem ter determinado tipo de interesse pelas ações deste projeto. As partes interessadas podem ser desde diretores, gerentes, supervisores e colaboradores, considerados *stakeholders* internos, até investidores, fornecedores, clientes e comunidade, chamados de externos (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021). Para otimizar este processo buscou-se elaborar dois bancos de dados conforme os Quadros 8 e 9 com informações dos especialistas e *stakeholders* envolvidos.

Quadro 8 - Lista de especialistas acadêmicos

Universidade	Linha de pesquisa	Logradouro	Pesquisador	Função

Fonte : elaborado pelo autor (2022)

Quadro 9 - Lista de *stakeholders*

Empresa	Setor	Tempo de atuação	Área de atuação	Formação	Stakeholder

Fonte : elaborado pelo autor (2022)

#### 4.3.5 Avaliação qualitativa por meio de entrevistas

Para atingir o objetivo de avaliação do artefato, foi utilizada a abordagem qualitativa, com objetivo exploratório, com o desígnio de criar uma base de conhecimento sobre a percepção dos avaliadores. A estratégia de estudo adotada foi o estudo qualitativo

<sup>9</sup> CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

genérico. Em relação aos procedimentos, seguiu-se a proposta do estudo qualitativo básico ou genérico sugerido por Merriam (1998), que abrangem a propriedade do método, no caso de pesquisas cujo foco não é a cultura (como na pesquisa etnográfica) nem a análise de uma unidade em particular, como propõe o estudo de caso, mas sim na narrativa do indivíduo entrevistado.

A pesquisa qualitativa beneficia que a cotidianidade seja abrangida, estimada, mostre-se como subjetiva e pessoal dos valores e papéis sociais, possibilitando aos pesquisadores a assimilação das relações entre característica e contexto, entre o pesquisador e o ser humano (GODOY, 2005). Ainda segundo a autora, a pesquisa qualitativa foca na assimilação e no caráter subjetivo das perspectivas sociais e da ação humana, que compõe o objeto que está sendo analisado. Abrangendo o comportamento humano ponderando suas particularidades. O Quadro 10 mostra o método de pesquisa para avaliação do artefato e o suporte teórico para esta fase do *Design Science Research*.

Quadro 10 - Método de avaliação do artefato e técnica de entrevista

Método de pesquisa	Tipologia	Técnica	Foco	Autores
Qualitativo	Genérico	Entrevistas semiestruturadas com 2 a 6 indivíduos	Narrativa	Merriam (1998), Lacerda <i>et al.</i> , (2013) Dresch; Lacerda; Júnior, (2015) Yim (2015) Bardin (2016) Creswell e Creswell, (2021)

Fonte : elaborado pelo autor (2022)

A entrevista é nomeada segundo o grau de efetividade, assim como pelo imediatismo e pela profundidade da narrativa verbal acolhida. Entrevistas não conduzidas, de uma ou duas horas, ou entrevistas semi conduzidas (também chamadas com esquema, focalizadas ou semiestruturadas) devem ser transcritas (Bardin, 2016). O roteiro semiestruturado de entrevistas está no **Apêndice “H”**, onde propõe 5 perguntas sobre o artefato que foram desenvolvidos nesta pesquisa. Para se ter uma relevância acadêmica da avaliação buscou-se também desenvolver um protocolo de pesquisa qualitativa que deve ser seguido pelo pesquisador durante a fase de avaliação que está apresentado no **Apêndice “G”**. Foram feitas de 2 a 6 entrevistas com pesquisadores e *stakeholders* para avaliação do artefato.

#### 4.3.6 Tratamento dos dados qualitativos da avaliação



Desenho planejado e desenvolvimento do novo produto/serviço, e o desenho das operações ou processo de produção. A prática da inovação, foco do presente estudo, se constitui nas atividades realizadas nesse estágio do processo *Stage-gate*. (COOPER; SUMER, 2016). Tratamento para os dados secundários tais como: documentos e dados da internet se utiliza a técnica de análise de conteúdo que segundo Bardin (2016) a técnica de análise de conteúdo é composta por três etapas:

1. **pré-análise:** preparo do material organizado para análise com o objetivo de sistematizar as ideias e desenvolver um plano de exame dos dados;
2. **exploração do material:** compõe a exploração do material quando a codificação, a classificação e a categorização são construídas;
3. **tratamento dos resultados:** ocorre a dedução e a interpretação. São separadas as informações para análise por meio de gráficos ilustrativos, esquemas ou figuras, bem como modelos representativos que confirmem a conclusão fornecida pela análise dos dados.

#### 4.3.7 Avaliação pelas empresas

Com a revisão integrativa de literatura feita no **Apêndice “E”**, pode-se ver aplicação dos modelos similares ao processo *Stage-gate* em indústrias e organizações que aplicam desenvolvimento de produtos em geral. Segundo Barbosa e Saisse (2019), os acadêmicos devem cultivar a proposta do PSD em futuras pesquisas empíricas, enquanto os gestores podem tomá-la como referência para a transformação digital sociotécnica.

O processo *Stage-gate* inclui uma análise detalhada dos detalhes das atividades ou tarefas em cada estágio. A estrutura dos portões é descrita, incluindo entregas, critérios para e saídas do portão, além de maneiras de tornar os portões mais rigorosos (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

De acordo com Cooper (2000) “então a análise do negócio é uma verificação muito mais descrita envolvendo pesquisa elementar, tanto técnica quanto mercadológica, levando a um *Business Case*, contendo definição de produto e projeto, justificativa do projeto. Para esta fase foram definidas duas empresas, uma no modelo tradicional de desenvolvimento de produto, e outra uma empresa *Startup* que empregue um modelo mais tecnológico de desenvolvimento de produto para avaliação do artefato.

#### 4.4 DEMONSTRAÇÃO E AVALIAÇÃO

Nesta etapa o pesquisador apresenta o artefato criado e mostra como ele resolve o problema, ou parte dele. Esta atividade pode ser presencial, seja em campo ou laboratório, ou remota, via internet, envolvendo experimentação, simulação, estudo de caso, prova, teste de usabilidade, ou outra técnica apropriada (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR, 2015). Segundo Cooper (1993), “testes ou ensaios no mercado, laboratório e planta para verificar e validar o novo produto indicado, e sua comercialização e produção / operação são operacionalizados na fase de teste e validação do processo *Stage-gate*”.

Na Avaliação, o pesquisador precisará comparar os resultados obtidos com o desempenho do artefato com o que havia sido definido como requisitos para a solução do problema (segunda etapa do método). Caso a consequência descoberta não seja a prometida, o pesquisador poderá retornar à etapa de projeto e desenvolvimento, a fim de desenvolver uma nova versão do artefato.

#### 4.5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS QUANTITATIVOS

A estatística descritiva é uma área da estatística que se preocupa com a descrição e apresentação de dados. Ela é usada para resumir e organizar dados, para identificar padrões e tendências, e para descrever as características de um conjunto de dados.

As técnicas estatísticas descritivas são usadas em uma ampla variedade de campos, incluindo negócios, economia, saúde, educação, ciências sociais e ciências naturais. Elas são usadas para analisar dados de pesquisas, para fazer previsões, para tomar decisões e para comunicar resultados. Foi utilizado a Média Exponencial Ponderada para medir a importância da I4.0, maturidade de utilização e aplicação das tecnologias habilitadoras da I4.0, o processo de desenvolvimento de produto, é uma média onde os pesos diminuem exponencialmente com o tempo. É uma medida de tendência central que é frequentemente usada para rastrear dados que mudam rapidamente (KLINE, 2023; HAIR, 2014).

#### 4.6 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A caracterização da amostra foi realizada a partir dos atributos das organizações as quais os funcionários estão vinculados e das seguintes informações disponibilizadas pelos respondentes (gênero, idade, grau de escolaridade, número de colaboradores, cargo que ocupa,

área da empresa e tempo de empresa). Inicialmente, a (Tabela 5) apresenta a distribuição dos respondentes, de acordo com o gênero.

**Tabela 5 – Distribuição dos respondentes de acordo com o perfil das empresas**

<i>Levels</i>	<b>Counts</b>	<b>% of Total</b>	<b>Cumulative %</b>
<i>Feminino</i>	45	18.0 %	18.0 %
<i>Masculino</i>	205	82.0 %	100.0 %

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Em relação ao gênero, verificou-se que a amostra é composta por 205 homens e 45 mulheres, representando 82% dos respondentes do sexo masculino e 18% do sexo feminino. Ao se analisar a faixa etária dos participantes da pesquisa (Tabela 6), detectou-se uma predominância de indivíduos com 20 a 30 anos (37,6%). A segunda parcela mais representativa, em relação à idade, possui de 30 a 40 anos (31,6%).

**Tabela 6 – Faixa etária dos respondentes**

<i>Levels</i>	<b>Counts</b>	<b>% of Total</b>	<b>Cumulative %</b>
<i>Menos de 20 anos</i>	22	8.8 %	8.8 %
<i>acima de 50 anos</i>	12	4.8 %	13.6 %
<i>de 20 a 30 anos</i>	94	37.6 %	51.2 %
<i>de 30 a 40 anos</i>	79	31.6 %	82.8 %
<i>de 40 a 50 anos</i>	43	17.2 %	100.0 %

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

No que se refere ao grau de instrução (Tabela 6), percebe-se uma maior concentração de profissionais com ensino médio completo (40.8%) ou superior incompleto (21,6%). A predominância de um maior nível de escolaridade pode estar associada aos cargos ocupados pelos respondentes (Tabela 7). Nesse sentido, identificou-se que 65,2% da amostra é composta por profissionais que atuam como colaboradores tendo que a formação, geralmente, se estabelece como um requisito para a ocupação de tais cargos

**Tabela 7 – Nível de escolaridade**

<i>Levels</i>	<b>Counts</b>	<b>% of Total</b>	<b>Cumulative %</b>
<i>Fundamental completo</i>	19	7.6 %	7.6 %
<i>Fundamental incompleto</i>	3	1.2 %	8.8 %
<i>Médio completo</i>	102	40.8 %	49.6 %
<i>Médio incompleto</i>	30	12.0 %	61.6 %
<i>Pós-graduação completa</i>	5	2.0 %	63.6 %
<i>Pós-graduação incompleta</i>	2	0.8 %	64.4 %
<i>Superior completo</i>	35	14.0 %	78.4 %
<i>Superior incompleto</i>	54	21.6 %	100.0 %

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Também é importante salientar que 10% dos respondentes informaram atuar como líderes nas empresas ( $n = 25$ ). No entanto, ao desmembrar esse resultado, de acordo com o perfil das organizações participantes, identificou-se que 23 indivíduos ocupam cargos com a denominação de analistas (9,2% da amostra total). Além disso, há um equilíbrio na proporção de respondentes que indicaram atuar em cargos de gerência com (6.4%), e supervisão com (5,2%).

Tabela 8 – Cargo dos respondentes

<i>Levels</i>	<b>Counts</b>	<b>% of Total</b>	<b>Cumulative %</b>
<i>Analista</i>	23	9.2 %	9.2 %
<i>Colaborador</i>	163	65.2 %	74.4 %
<i>Diretor</i>	4	1.6 %	76.0 %
<i>Gerente</i>	16	6.4 %	82.4 %
<i>Líder</i>	25	10.0 %	92.4 %
<i>Proprietário / CEO</i>	6	2.4 %	94.8 %
<i>Supervisor</i>	13	5.2 %	100.0 %

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Quanto ao tamanho da empresa (Tabela 9), 75,2% são empresas de porte pequeno (n = 188) e 19,2% empresas de médio porte (n = 48). Outro ponto que merece destaque é o fato de que 42,8% dos respondentes possuem de 1 a 5 anos de empresa (Tabela 9). Essa conjuntura pode favorecer o conhecimento e o entendimento sobre as rotatividade de funcionários e momentos econômicos.

Tabela 9 – Tamanho de cada empresa

<i>Levels</i>	<b>Counts</b>	<b>% of Total</b>	<b>Cumulative %</b>
<i>0 a 50</i>	188	75.2 %	75.2 %
<i>201 a 500</i>	10	4.0 %	79.2 %
<i>50 a 200</i>	48	19.2 %	98.4 %
<i>501 a 1000</i>	3	1.2 %	99.6 %
<i>mais de 1000</i>	1	0.4 %	100.0 %

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Na questão da atuação analisou-se o tempo de empresa dos profissionais pesquisados (Tabela 10). Nessa situação, identificou-se que 34,8% têm de 5 a 10 anos de empresa (n = 87) e 12,8% de 10 a 15 anos (n = 32).

Tabela 10 – Tempo de atuação dos respondentes

<i>Levels</i>	<b>Counts</b>	<b>% of Total</b>	<b>Cumulative %</b>
<i>1 a 5 anos</i>	107	42.8 %	42.8 %
<i>10 a 15 anos</i>	32	12.8 %	55.6 %
<i>15 a 20 anos</i>	10	4.0 %	59.6 %
<i>20 a 25 anos</i>	9	3.6 %	63.2 %
<i>25 a 30 anos</i>	3	1.2 %	64.4 %
<i>5 a 10 anos</i>	87	34.8 %	99.2 %
<i>mais de 30 anos</i>	2	0.8 %	100.0 %

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Por fim, analisou-se a área de trabalho de cada respondente onde 57% (n = 143) trabalham na área de produção, 18% (n = 45) na área administrativa, 12,8% (n = 32) na área de engenharia, 6% na área comercial. A Tabela 11 mostra os dados da área de atuação dos respondentes.

Tabela 11 – Area de atuação dos respondentes

<i>Levels</i>	<b>Counts</b>	<b>% of Total</b>	<b>Cumulative %</b>
<i>Administrativo</i>	45	18.0 %	18.0 %
<i>Comercial</i>	15	6.0 %	24.0 %
<i>Engenharia</i>	32	12.8 %	36.8 %
<i>Produção</i>	143	57.2 %	94.0 %
<i>Qualidade</i>	9	3.6 %	97.6 %
<i>TI</i>	6	2.4 %	100.0 %

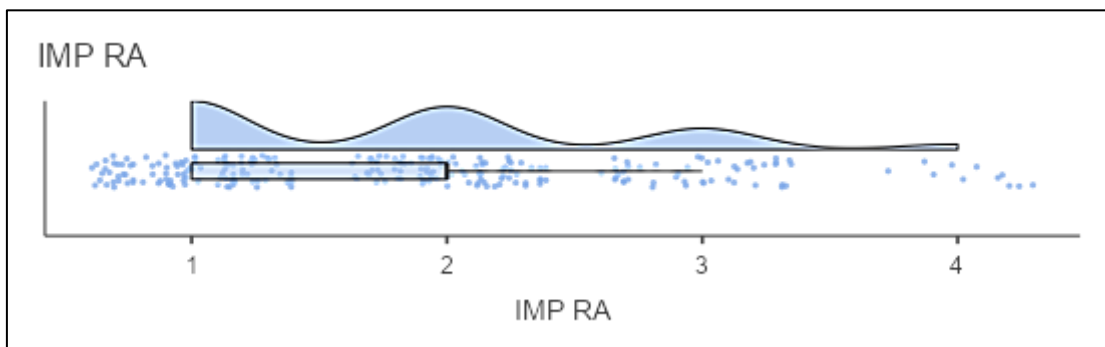
Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Na sequência, após caracterizar a amostra do estudo, apresenta-se a análise descritiva das variáveis dos construtos de importância (IMP), utilização e aplicação de cada tecnologia habilitadora da I4.0 (UTL), e por último o construto processo de desenvolvimento de produto (PDP).

#### 4.7 IMPORTÂNCIA DAS TECNOLOGIAS HABILITADORAS DA I4.0 (IMP)

A importância da realidade aumentada para o desenvolvimento de negócios é de 2, com um desvio padrão de 0,866. Isso significa que a maioria dos valores está entre 0,884 e 2,616. O valor mínimo é 1 e o máximo é 4. A curtose é -0,36996, o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 1,96 a 2,00. A Figura 23 mostra a média e a distribuição dos dados da variável RA.

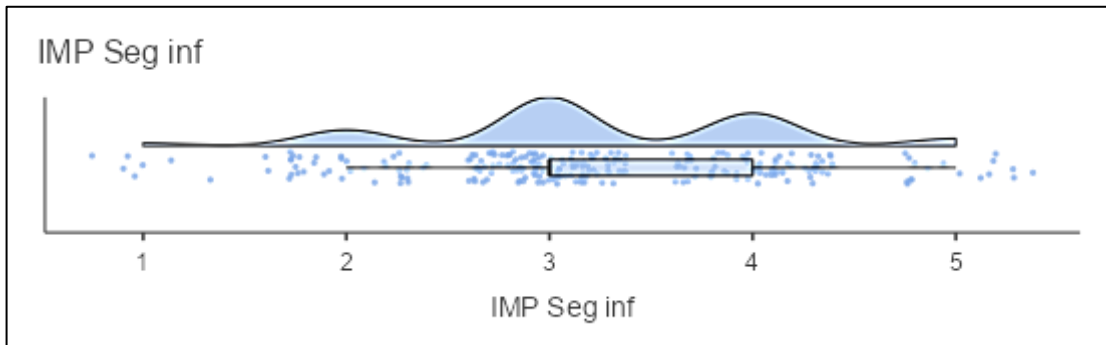
Figura 23 - Média de importância da realidade aumentada



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância da segurança da informação para o desenvolvimento de negócios é de 3, com um desvio padrão de 0,885. Isso significa que a maioria dos valores está entre 2,245 e 3,915. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é -0,00561, o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 3,35 a 3,00. A Figura 24 mostra a média e a distribuição dos dados da variável Segurança da informação.

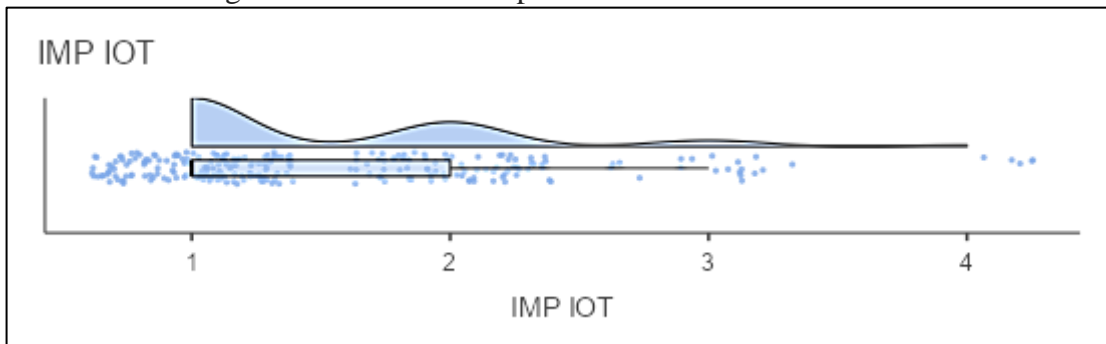
Figura 24 – Média de importância da segurança da informação



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância da internet das coisas para o desenvolvimento de negócios é de 1, com um desvio padrão de 0,724. Isso significa que a maioria dos valores está entre 0,706 e 2,154. O valor mínimo é 1 e o máximo é 4. A curtose é 1,42094, o que significa que a distribuição é mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 1,61 a 1,00. A Figura 25 mostra a média e a distribuição dos dados da variável IoT.

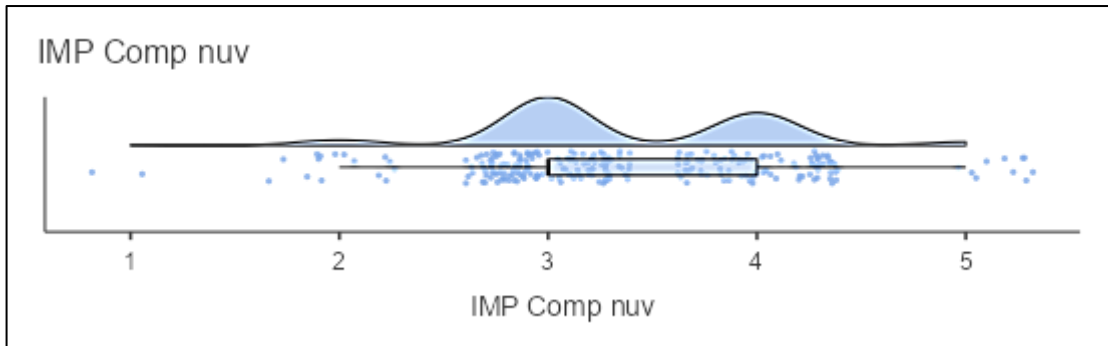
Figura 25 – Média de importância da internet das coisas



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância da computação em nuvem para o desenvolvimento de negócios é de 3, com um desvio padrão de 0,694. Isso significa que a maioria dos valores está entre 2,586 e 3,974. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é 0,56821, o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 3,45 a 3,00. A Figura 26 mostra a média e a distribuição dos dados da variável computação em nuvem.

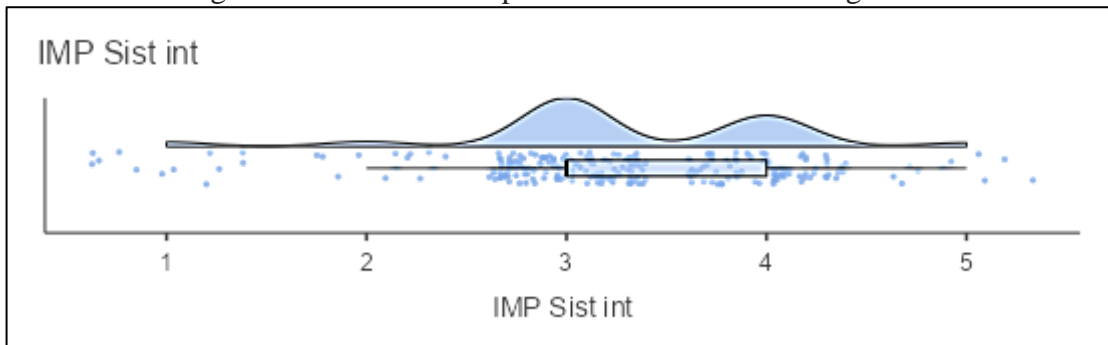
Figura 26 – Média de importância da computação em nuvem



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância de sistemas integrados para o desenvolvimento de negócios é de 3, com um desvio padrão de 0,819. Isso significa que a maioria dos valores está entre 2,154 e 3,915. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é 1,222 o que significa que a distribuição é mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 3,17 a 3,37. A Figura 27 mostra a média e a distribuição dos dados da variável sistemas integrados.

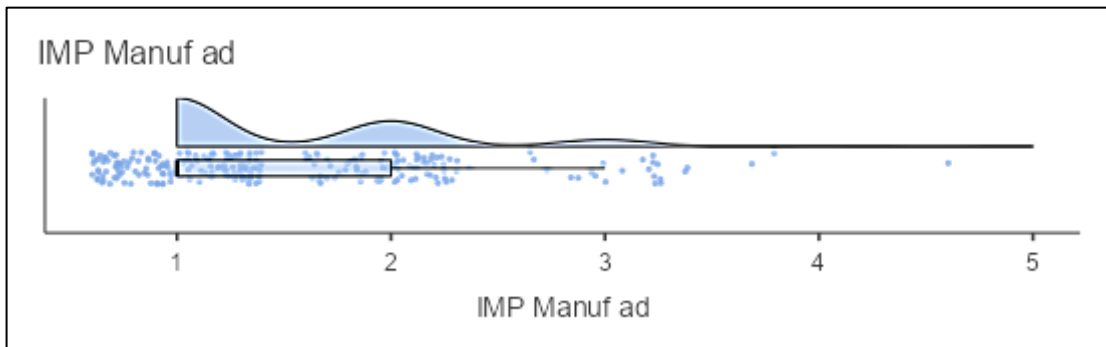
Figura 27 – Média de importância dos sistemas integrados



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância da manufatura aditiva para o desenvolvimento de negócios é de 1, com um desvio padrão de 0,718. Isso significa que a maioria dos valores está entre 0,712 e 2,148. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é 2,19342, o que significa que a distribuição é mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 1,61 a 1,00. A Figura 28 mostra a média e a distribuição dos dados da variável manufatura aditiva.

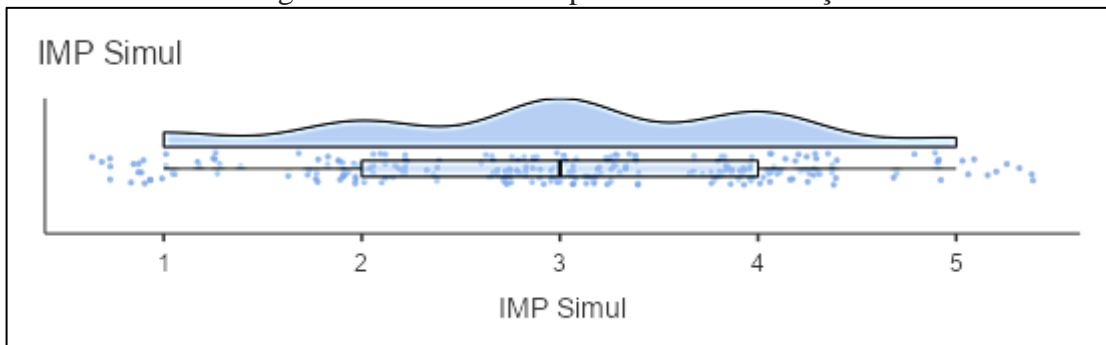
Figura 28 – Média de importância da manufatura aditiva



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância da simulação para o desenvolvimento de negócios é de 3, com um desvio padrão de 1,081. Isso significa que a maioria dos valores está entre 1,769 e 4,031. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é - 0,57727, o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 3,12 a 3,00. A Figura 29 mostra a média e a distribuição dos dados da variável simulação.

Figura 29 – Média de importância da simulação

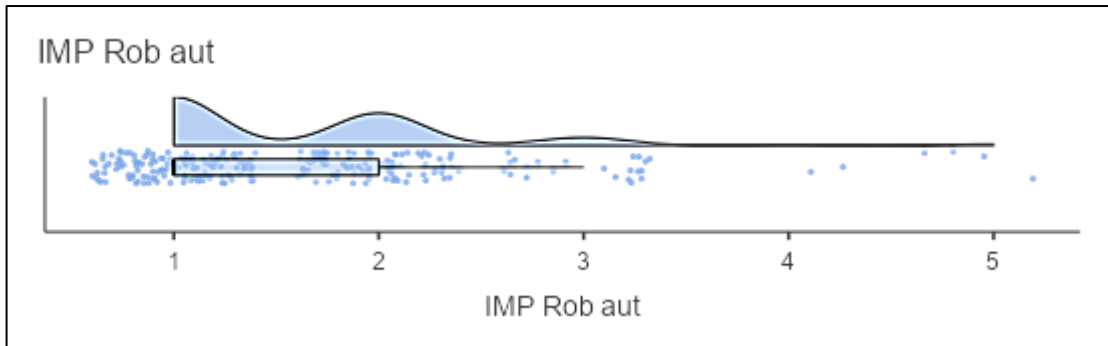


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância da robótica e automação para o desenvolvimento de negócios é de 1, com um desvio padrão de 0,809. Isso significa que a maioria dos valores está entre 0,711 e 2,329. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é 3,57223, o que significa que a distribuição é mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 1,72 a 1,00. A Figura 30 mostra a média e a distribuição dos dados da variável robôs autônomos.



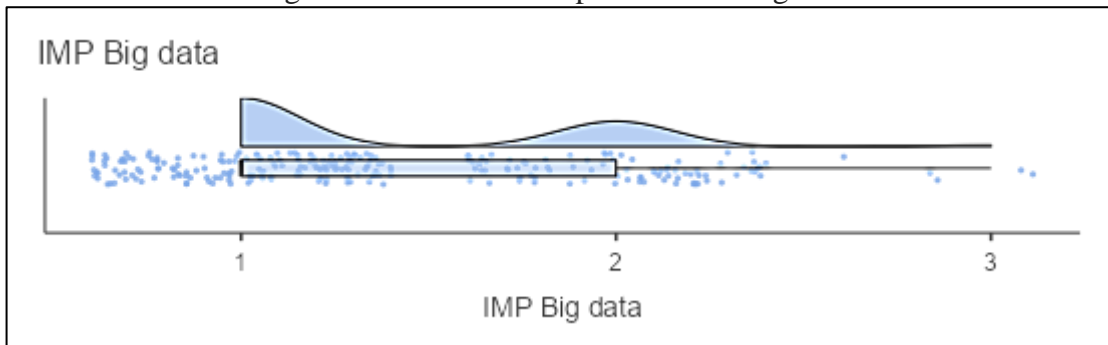
Figura 30 – Média de importância dos robôs autônomos



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância do big data para o desenvolvimento de negócios é de 1, com um desvio padrão de 0,525. Isso significa que a maioria dos valores está entre 0,786 e 1,834. O valor mínimo é 1 e o máximo é 3. A curtose é -0,29118, o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 1,44 a 1,00. A Figura 31 mostra a média e a distribuição dos dados da variável Big Data.

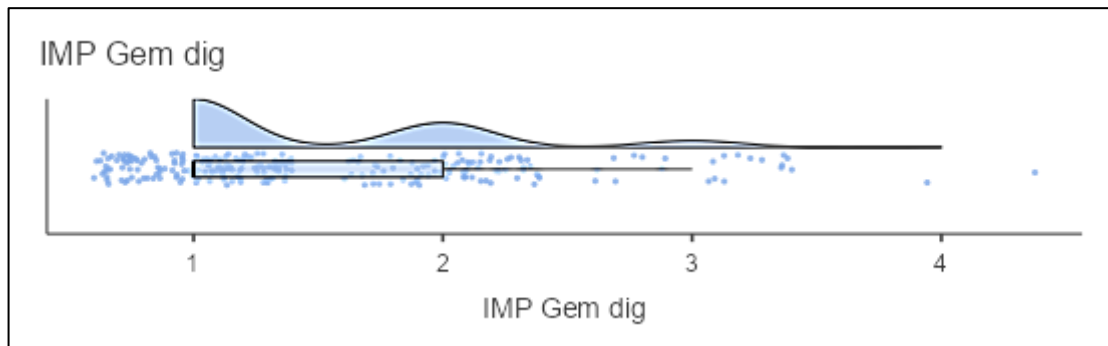
Figura 31 – Média de importância do Big Data



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A importância dos gêmeos digitais para o desenvolvimento de negócios é de 1, com um desvio padrão de 0,684. Isso significa que a maioria dos valores está entre 0,820 e 2,238. O valor mínimo é 1 e o máximo é 3. A curtose é 0,696 o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 1,58 a 1,0. A Figura 32 mostra a média e a distribuição dos dados da variável gêmeos digitais.

Figura 32 – Média de importância dos gêmeos digitais



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Os gráficos de *survey plot* usados nesta fase de análise servem para identificar padrões nos resultados da pesquisa, como tendências, outliers e agrupamentos.

#### 4.8 UTILIZAÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA (RA)

A realidade aumentada (RA) é uma tecnologia que combina objetos virtuais e informações ao mundo real em tempo real. Ela é criada usando uma variedade de dispositivos, incluindo smartphones, tablets, óculos especiais e até mesmo projetores. A RA pode ser usada para uma variedade de propósitos, incluindo jogos, educação, treinamento e medicina (SEELIGER; CHENG; NETLAND, 2023; PIEKARSKI; THOMAS, 2002). No que tange a utilização da RA a Tabela 12 mostra a estatística descritiva desta tecnologia

Tabela 12 – Análise da utilização RA

Variáveis	N	Missing	Mean	Median	SD	Variance	Mínimum	Maximum
UTL RA trein	250	0	1.16	1.00	0.467	0.2180	1	4
UTL RA Mant	250	0	1.08	1.00	0.305	0.0933	1	3
UTL RA Cq	250	0	1.10	1.00	0.321	0.1032	1	3
UTL RA Proj	250	0	1.18	1.00	0.452	0.2044	1	3
UTL RA Proc	250	0	1.22	1.00	0.500	0.2503	1	3

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

TL RA trein é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade da área de treinamento. A média é 1,16 está no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,467. Alguns usuários compreendem a utilização em treinamento executante proativo, enquanto outros notam a utilização em pré-adoção despreparado. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

UTL RA Mant é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade da área de manutenção. A média é 1,08, está e no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,305. Alguns usuários notam a utilização da RA na área

de manutenção como experimental e consciente, enquanto outros notam a área de manutenção em pré-adoção despreparado. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL RA Cq é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade da área de qualidade. A média é 1,10 está no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,321. Alguns usuários creem a utilização na área de qualidade experimental e consciente, enquanto outros creem a utilização na área de qualidade em pré-adoção despreparado. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL RA Proj é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade da área de projetos. A média é 1,18 pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00, O desvio padrão é 0,452. Alguns usuários notam a área de projetos em pré-adoção despreparado, enquanto outros notam a área de projetos experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL RA Proc é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade da área de processos. A média é 1,22 está no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,500. Alguns usuários c a área de processos está em pré-adoção despreparado, enquanto outros responderam que a área de processos é experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

#### 4.9 UTILIZAÇÃO DA SEGURANÇA DA INFORMAÇÃO (SEG INF)

A segurança da informação é uma das principais preocupações da Indústria 4.0. Isso porque a interconexão de máquinas e sistemas torna os sistemas mais vulneráveis a ataques cibernéticos. Um ataque cibernético pode causar uma interrupção na produção, vazamento de dados confidenciais ou até mesmo um acidente industrial (LI; XIAO; ZHANG, 2023; ASSIS; MELO, 2020). A Tabela 13 mostra a estatística descritiva desta tecnologia

Tabela 13 – Análise da utilização segurança da informação

<i>Variáveis</i>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>	<b>Variance</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<i>UTL SEG INF Cript</i>	250	0	2.71	3.00	0.899	0.808	1	5
<i>UTL SEG INF Firw</i>	250	0	2.77	3.00	0.920	0.846	1	5
<i>UTL SEG INF Antv</i>	250	0	3.52	3.00	0.735	0.540	1	5
<i>UTL SEG INF Gia</i>	250	0	1.50	1.00	0.666	0.444	1	4
<i>UTL SEG INF Asegr</i>	250	0	1.49	1.00	0.648	0.420	1	4

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL SEG INF Cript é uma medida de como os usuários se observam sobre a segurança de usar criptografia para proteger suas informações. A média é 2,71, o que significa estágio de maturidade adoção planejamento e escopo. A mediana é 3,00. O desvio padrão é 0,899. Alguns usuários se observam estar em pré-adoção despreparado na segurança da criptografia, enquanto outros se observam adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL SEG INF Firw é uma medida de como os usuários se observam sobre a segurança de usar um firewall para proteger suas informações. A média é 2,77, significa estágio de maturidade adoção planejamento e escopo na segurança de um firewall. A mediana é 3,00. O desvio padrão é 0,920. Alguns usuários se notam pré-adoção despreparado na segurança de um firewall, enquanto outros se observam adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL SEG INF Antv é uma medida de como os usuários se notam sobre a segurança de usar um antivírus para proteger suas informações. A média é 3,52, o que significa estágio de maturidade experimental e consciente na segurança de um antivírus. A mediana é 3,00. O desvio padrão é 0,735. Alguns usuários se notam pré-adoção despreparado na segurança de um antivírus, enquanto outros se observam adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL SEG INF Gia é uma medida de como os usuários se observam sobre a segurança de usar gestão de identidade e acesso para proteger suas informações. A média é 1,50, o que significa que está no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,666. Alguns usuários se observam está em pré-adoção despreparado de usar gestão de identidade e acesso, enquanto outros se notam executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

UTL SEG INF Asegtr é uma medida de como os usuários se observam análise de segurança em tempo real. A média é 1,49, o que significa estar no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,648. Alguns usuários se observam em pré-adoção despreparado na análise de segurança em tempo real, enquanto outros se observam em executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

#### 4.10 UTILIZAÇÃO DA INTERNET DA COISAS (IOT)

De acordo com Hassini e Bahroun. (2017) a Internet das Coisas (IoT) é um termo usado para descrever a rede de dispositivos físicos, veículos, eletrodomésticos e outros itens incorporados com tecnologia de sensores, software e conectividade que lhes permitem coletar e trocar dados (ELSISI; AMER; SU, 2023). A Tabela 14 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 14 – Análise da utilização da internet das coisas

<i>Variáveis</i>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>	<b>Variance</b>	<b>Mínimum</b>	<b>Maximum</b>
<i>UTL IOT Rsf</i>	250	0	1.28	1.00	0.541	0.293	1	3
<i>UTL IOT Blth</i>	250	0	1.25	1.00	0.495	0.245	1	3
<i>UTL IOT Wi-Fi</i>	250	0	3.14	3.00	0.577	0.333	1	5

<i>UTL IOT Mqtt</i>	250	0	1.12	1.00	0.356	0.127	1	3
<i>UTL IOT Rfid</i>	250	0	1.11	1.00	0.401	0.161	1	4

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL IOT Rsf é uma medida de como os usuários se notam sobre a utilidade da tecnologia redes de sensores sem fio (RS) para Internet das Coisas (IoT). A média é 1,28, significa estar no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,541. Alguns usuários percebem a tecnologia está em pré-adoção despreparado outros percebem a tecnologia RF está em experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL IOT Blth é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade da tecnologia Bluetooth. A média é 1,25, o que significa estar no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,495. Alguns usuários percebem a tecnologia Bluetooth pré-adoção despreparado, enquanto outros notam a tecnologia Bluetooth experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL IOT Wi-Fi é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da tecnologia Wi-Fi. A média é 3,14, o que significa estar no estar no estágio de maturidade experimental e consciente. A mediana é 3,00. O desvio padrão é 0,577. Alguns usuários percebem a tecnologia Wi-Fi pré-adoção despreparado, enquanto outros percebem a tecnologia Wi-Fi adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL IOT Mqtt é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da tecnologia MQTT para IoT. A média é 1,12, o que significa estar no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,356. Alguns usuários percebem a tecnologia MQTT pré-adoção despreparado, enquanto outros percebem a tecnologia MQTT experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL IOT Rfid é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da tecnologia RFID para IoT. A média é 1,11, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,401. Alguns usuários percebem a tecnologia RFID pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem a tecnologia RFID executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

#### 4.11 UTILIZAÇÃO DA COMPUTAÇÃO EM NUVEM (NUV)

De acordo com Lee, Nor e Ismail, (2021) computação em nuvem é uma tecnologia que permite que os usuários armazenem e processem dados em servidores remotos, em vez de em seus próprios dispositivos. Essa tecnologia tem o potencial de revolucionar a indústria 4.0, a

quarta revolução industrial, que é caracterizada pela automação e conectividade de máquinas (TIAN *et al.*, 2023). A Tabela 15 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 15 – Análise da utilização da computação em nuvem

<i>Variáveis</i>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>	<b>Variance</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<i>UTL NUV Armaz</i>	250	0	3.64	4.00	0.692	0.479	2	5
<i>UTL NUV IaaS</i>	250	0	1.36	1.00	0.607	0.369	1	3
<i>UTL NUV PaaS</i>	250	0	1.49	1.00	0.713	0.508	1	3
<i>UTL NUV SaaS</i>	250	0	1.82	2.00	0.874	0.764	1	4
<i>UTL NUV Serverless</i>	250	0	1.84	2.00	0.903	0.815	1	4

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL NUV Armaz é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade do armazenamento baseado em nuvem. A média é 3,64, o que significa estágio de maturidade experimental e consciente. A mediana é 4,00. O desvio padrão é de 0,692. Alguns usuários consideram o armazenamento baseado em nuvem é adoção planejamento e escopo, enquanto outros o consideram adaptabilidade e referência. O mínimo é 2 e o máximo é 5.

UTL NUV IaaS é uma medida de como os usuários se notam sobre a utilidade da Infraestrutura como Serviço (IaaS). A média é 1,36, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é de 0,607. Alguns usuários consideram o IaaS pré-adoção despreparado, enquanto outros o consideram experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL NUV PaaS é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da plataforma como serviço (PaaS) para IoT. A média é 1,49, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é de 0,713. Alguns usuários consideram a PaaS pré-adoção despreparado, enquanto outros a consideram experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL NUV SaaS é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade do Software como Serviço (SaaS). A média é 1,82, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 2,00. O desvio padrão é de 0,874. Alguns usuários consideram o SaaS pré-adoção despreparado, enquanto outros o consideram executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

UTL NUV Serverless é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da computação Serverless para IoT. A média é 1,84, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 2,00. O desvio padrão é de 0,903. Alguns usuários consideram a computação sem servidor pré-adoção despreparado, enquanto outros a consideram executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

#### 4.12 UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS INTEGRADOS (SIST INT)

Os sistemas integrados são uma das principais tecnologias por trás da Indústria 4.0. Eles permitem conectar informações de diferentes departamentos e áreas em uma única plataforma, facilitando a tomada de decisões e o gerenciamento mais eficiente dos processos industriais (OZTEMEL; GURSEV, 2020). A Tabela 16 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 16 – Análise da utilização de sistemas integrados

<i>Variáveis</i>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>	<b>Variance</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<i>UTL SIST INT Erp</i>	250	0	3.45	3.00	0.658	0.433	1	5
<i>UTL SIST INT Scm</i>	250	0	1.36	1.00	0.669	0.447	1	4
<i>UTL SIST INT Crm</i>	250	0	1.79	2.00	0.885	0.784	1	4
<i>UTL SIST INT Mes</i>	250	0	1.13	1.00	0.380	0.144	1	3
<i>UTL SIST INT Gestproj</i>	250	0	2.64	3.00	0.886	0.784	1	4

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL SIST INT Erp é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade dos sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP). A média é 3,45, o que significa estágio de maturidade experimental e consciente. A mediana é 3,00. O desvio padrão é 0,658. Alguns usuários compreendem os sistemas ERP experimental e consciente, enquanto outros notam os sistemas ERP como adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL SIST INT Scm é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade dos sistemas de gerenciamento de cadeia de suprimentos (SCM). A média é 1,36, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,669. Alguns usuários compreendem os sistemas SCM pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem os sistemas SCM executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

UTL SIST INT Crm é uma medida de como os usuários se experimentam sobre a utilidade dos sistemas de gerenciamento de relacionamento com o cliente (CRM). A média é 1,79, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 2,00. O desvio padrão é 0,885. Alguns usuários entendem os sistemas CRM pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem os sistemas CRM executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

UTL SIST INT Mes é uma medida de como os usuários se notam sobre a utilidade dos sistemas de execução de manufatura. A média é 1,13, o que significa que é pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,380. Alguns usuários compreendem os

sistemas de execução de manufatura pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL SIST INT Gestproj é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade dos sistemas de gestão de projetos. A média é 2,64, o que significa estágio de maturidade adoção planejamento e escopos. A mediana é 3,00. O desvio padrão é 0,886. Alguns usuários compreendem os sistemas de gestão de projetos pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem os sistemas de gestão de projetos executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

#### 4.13 UTILIZAÇÃO DA MANUFATURA ADITIVA (MAN AD)

A manufatura aditiva é um processo de fabricação que cria objetos adicionando material, camada por camada, até que o objeto final seja criado. Isso é diferente da fabricação tradicional, que envolve a remoção de material de uma peça bruta até que o objeto final seja criado (MUKAI; LI; SUH, 2021). A Tabela 17 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 17 – Análise da utilização da manufatura aditiva

<i>Variáveis</i>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>	<b>Variance</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<i>UTL MAN AD Prot</i>	250	0	1.54	1.00	0.689	0.4746	1	4
<i>UTL MAN AD Fabmod</i>	250	0	1.56	1.00	0.699	0.4888	1	4
<i>UTL MAN AD Reppeç</i>	250	0	1.06	1.00	0.290	0.0842	1	3
<i>UTL MAN AD Peçcomp</i>	250	0	1.06	1.00	0.284	0.0807	1	3
<i>UTL MAN AD Peçarq</i>	250	0	1.04	1.00	0.207	0.0429	1	3

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL MAN AD Prot é uma medida de como os usuários se notam sobre a utilidade da manufatura aditiva para a prototipagem. A média é 1,54 estágio de maturidade pré-adoção despreparado para prototipagem. A mediana é 1,00, O desvio padrão é 0,689. Alguns usuários compreendem a MA pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem a executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

UTL MAN AD Fabmod é uma medida de como os usuários se observam sobre a utilidade da AM para a fabricação de modelos de fabricação. A média é 1,56, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,699. Alguns usuários notam pré-adoção despreparado enquanto outros notam executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.



UTL MAN AD Reppeç é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da AM para a reposição de peças. A média é 1,06, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,290. Alguns usuários notam pré-adoção despreparado, enquanto outros notam experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL MAN AD Peçcomp é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da AM para a fabricação de peças complexas. A média é 1,06, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,284. Alguns usuários notam pré-adoção despreparado, enquanto outros notam experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

UTL MAN AD Peçarq é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade da impressão de modelos arquitetônicos. A média é 1,04, o que significa estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,207, o que significa que há uma variação significativa nas respostas dos usuários. Alguns usuários notam pré-adoção despreparado, enquanto outros notam experimental e consciente. O mínimo é 1 e o máximo é 3.

#### 4.14 UTILIZAÇÃO DA SIMULAÇÃO (SIMUL)

De acordo com Davis *et al.*, (1991) a simulação é uma ferramenta poderosa que pode ser usada para simular a operação de sistemas complexos e prever seu comportamento. Ela pode ser usada para uma variedade de propósitos, incluindo:

- a) Otimização de processos: a simulação pode ser usada para identificar maneiras de melhorar a eficiência e a produtividade dos processos (RUBMANN *et al.*, 2015).
- b) Teste de novos produtos e serviços: a simulação pode ser usada para testar novos produtos e serviços em um ambiente seguro, antes de colocá-los no mercado (RUBMANN *et al.*, 2015).
- c) Treinamento de funcionários: a simulação pode ser usada para treinar funcionários em novas habilidades e procedimentos (RUBMANN *et al.*, 2015).
- d) Análise de risco: a simulação pode ser usada para analisar os riscos associados a novos projetos ou processos (RUBMANN *et al.*, 2015). A Tabela 18 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 18 – Análise da utilização da simulação

Variáveis	N	Missing	Mean	Median	SD	Variance	Minimum	Maximum
UTL SIMUL Cad	250	0	3.45	3.00	0.811	0.658	1	5

<i>UTL SIMUL Cam</i>	250	0	2.36	2.00	1.370	1.878	1	5
<i>UTL SIMUL Ansys</i>	250	0	1.45	1.00	0.811	0.658	1	5
<i>UTL SIMUL Arena</i>	250	0	1.23	1.00	0.507	0.257	1	4
<i>UTL SIMUL Flexsim</i>	250	0	1.25	1.00	0.549	0.302	1	4

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL SIMUL Cad é uma medida de como os usuários se notam sobre a utilidade dos softwares de modelagem assistida por computador (CAD). A média é 3,45, o que significa estágio de maturidade experimental e consciente. A mediana é 3,00. O desvio padrão é 0,811. Alguns usuários notam os softwares CAD pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem os softwares CAD adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL SIMUL Cam é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade dos softwares de manufatura assistida por computador (CAM). A média é 2,36, o que significa que a maioria dos usuários nota estágio de maturidade adoção planejamento e escopo. A mediana é 2,00. O desvio padrão é 1,370. Alguns usuários compreendem os softwares CAM pré-adoção despreparado, enquanto outros compreendem os softwares CAM adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL SIMUL Ansys é uma medida de como os usuários se sentem sobre a utilidade dos softwares de simulação Ansys. A média é 1,45, o que significa que a maioria dos usuários compreendem os softwares Ansys pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,811. Alguns usuários notam os softwares Ansys pré-adoção despreparado, enquanto outros notam os softwares Ansys adaptabilidade e referência. O mínimo é 1 e o máximo é 5.

UTL SIMUL Arena é uma medida de como os usuários se experimentam sobre a utilidade dos softwares de simulação Arena. A média é 1,23, o que significa que a maioria dos usuários acha os softwares Arena pré-adoção despreparado no estágio de maturidade. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,507. Alguns usuários percebem os softwares Arena pré-adoção despreparado, enquanto outros percebem os softwares Arena executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

UTL SIMUL Flexsim é uma medida de como os usuários se experimentam sobre a utilidade dos softwares de simulação Flexsim. A média é 1,25, o que significa que a maioria dos usuários acha os softwares Flexsim está no estágio de maturidade pré-adoção despreparado. A mediana é 1,00. O desvio padrão é 0,549. Alguns usuários compreendem os softwares Flexsim pré-adoção despreparado, enquanto outros notam os softwares Flexsim executante e proativo. O mínimo é 1 e o máximo é 4.

#### 4.15 UTILIZAÇÃO DE ROBÔS AUTÔNOMOS (ROBÔS)

A indústria 4.0 é a quarta revolução industrial, que se caracteriza pela integração de tecnologias digitais em todos os aspectos da produção industrial. Os robôs são uma das tecnologias da indústria 4.0, pois permitem a automação de tarefas que antes eram realizadas por humanos. Os robôs podem aumentar a eficiência da produção, melhorar a qualidade dos produtos e reduzir os custos. Eles também podem ajudar a melhorar a segurança dos trabalhadores, pois podem realizar tarefas que são perigosas ou insalubres para os humanos (XU *et al.*, 2021; SCHOLL, 2011). A Tabela 19 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 19 – Análise de utilização de robôs autônomos

<i>Variáveis</i>	N	Missing	Mean	Median	SD	Variance	Minimum	Maximum
<i>UTL ROBOS Colmov</i>	250	0	1.08	1.00	0.356	0.1267	1	4
<i>UTL ROBO Cargpes</i>	250	0	1.02	1.00	0.153	0.0235	1	2
<i>UTL ROBOS Colmont</i>	250	0	1.32	1.00	0.671	0.4499	1	4
<i>UTL ROBOS Fix</i>	250	0	1.49	1.00	0.777	0.6043	1	4
<i>UTL ROBOS Insp</i>	250	0	1.09	1.00	0.385	0.1481	1	4

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL ROBOS Colmov é uma variável que mede a utilização de robôs para a movimentação de materiais. A média da variável é 1.08, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. O desvio padrão é de 0,356. A mediana da variável é 1.00. A variância da variável é 0.1267. O mínimo da variável é 1, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 4, o que significa que os robôs estão na maturidade executante e proativo.

UTL ROBO Cargpes é uma variável que mede a utilização de robôs para carregar e descarregar peças pesadas. A média da variável é 1.02, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00, o que significa que a metade dos valores da variável são iguais ou inferiores a 1.00. O desvio padrão é de 0,0235. A variância da variável é 0.0235. O mínimo da variável é 1, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 2, o que significa que os robôs estão na maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL ROBOS Colmont é uma variável que mede a utilização de robôs para a montagem de peças. A média da variável é 1.32, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00, o que significa que a metade dos valores da variável são iguais ou inferiores a 1.00. O desvio padrão é de 0,671. A variância da variável é 0.4499. O mínimo da variável é 1 os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 4, o que significa que os robôs estão na maturidade executante e proativo.

UTL ROBOS Fix é uma variável que mede a utilização de robôs para a fixos. A média da variável é 1.49, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00, o que significa que a metade dos valores da variável são iguais ou inferiores a 1.00. O desvio padrão é de 0777. A variância da variável é 0.6043. O mínimo da variável é 1, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 4, o que significa estão no estágio de maturidade executante e proativo.

UTL ROBOS Insp é uma variável que mede a utilização de robôs para inspecionar peças. A média da variável é 1.09, o que significa que os estão na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00, o que significa que a metade dos valores da variável são iguais ou inferiores a 1.00. O desvio padrão é de 0,385. A variância da variável é 0.148. O mínimo da variável é 1, o que significa que os robôs estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 4, o que significa que os robôs estão no estágio de maturidade executante e proativo.

#### 4.16 UTILIZAÇÃO DO BIG DATA (BIG DATA)

Os dados de alto volume, velocidade e variedade podem ajudar as empresas a aumentar a geração de valor, permitindo que elas tomem decisões automatizadas que são normalmente tomadas por julgamento e intuição humanos. Quando as empresas são capazes de processar grandes volumes de dados de várias fontes em tempo hábil, elas podem obter insights que podem ser usados para melhorar a tomada de decisão, reduzir custos e aumentar a eficiência. Isso pode dar às empresas uma vantagem competitiva no mercado (FATHI *et al.*, 2022; DASH *et al.*, 2019). A Tabela 20 mostra a estatística descritiva desta tecnologia. Tabela 16 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 20 – Análise da utilização do Big Data

<i>Variáveis</i>	<b>N</b>	<b>Missing</b>	<b>Mean</b>	<b>Median</b>	<b>SD</b>	<b>Variance</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>
<i>UTL BIG DATA Hadoop</i>	250	0	1.05	1.00	0,214	0.0459	1	2
<i>UTL BIG DATA Spark</i>	250	0	1.09	1.00	0,284	0.0806	1	2
<i>UTL BIG DATA NoSQL</i>	250	0	1.11	1.00	0,324	0.1048	1	3
<i>UTL BIG DATA MapReduce</i>	250	0	1.10	1.00	0,321	0.1032	1	3
<i>UTL BIG DATA Elasticsearch</i>	250	0	1.05	1.00	0,214	0.0459	1	2

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL BIG DATA Hadoop é uma variável que mede a utilização de *Hadoop* é um software livre e de código aberto para processamento de Big Data e armazenamento distribuído. A média da variável é 1.05, o que significa que *Hadoop* está na maturidade pré-adoção despreparado. O desvio padrão é 0,214. A mediana da variável é 1.00. A variância da variável é 0.0459. O mínimo da variável é 1, o que significa que *Hadoop* está na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 2, o que significa que *Hadoop* estão na maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL BIG DATA Spark é uma variável que mede a utilização do *Spark*, é baseado em um modelo de programação de memória interna, o que significa que ele pode processar dados em memória, o que é muito mais rápido do que processá-los em disco. A média da variável é 1.09, o que significa que *Spark* está na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00. O desvio padrão é de 0,284. A variância da variável é 0.0806. O mínimo da variável é 1, o que significa que *Spark* estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 2, o que significa que *Spark*, está na maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL BIG DATA NoSQL é uma variável que mede a utilização do *NoSQL*, é um acrônimo para "*not only SQL*". É um termo geral para bancos de dados que não são baseados no modelo relacional tradicional. Os bancos de dados *NoSQL* são projetados para lidar com grandes quantidades de dados de forma eficiente e escalável. A média da variável é 1.11, o que significa que *NoSQL* está na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00. O desvio padrão é de 0,324. A variância da variável é 0.1048. O mínimo da variável é 1, o que significa que *NoSQL* estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 3, o que significa que *NoSQL* está na maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL BIG DATA MapReduce é uma variável que mede a utilização do *MapReduce* é um modelo de programação para processar grandes conjuntos de dados dividindo-os em partes menores e executando-os em paralelo em nós de computação. É uma parte importante da plataforma *Hadoop* e é usado para uma ampla gama de tarefas de *Big Data*, incluindo análise de dados, aprendizado de máquina e processamento de fluxos de dados. A média da variável é 1.10, o que significa que o *MapReduce* está na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00. O desvio padrão é de 0,321. A variância da variável é 0.1032. O mínimo da variável é 1, o que significa que o *MapReduce* está na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 3, o que significa que os robôs estão na maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL BIG DATA Elasticsearch é uma variável que mede a utilização do *Elasticsearch* é um motor de busca e análise distribuído gratuito e de código aberto que ajuda você a pesquisar

e analisar dados de forma rápida e eficiente. É uma das principais tecnologias da família *Elastic Stack*, que também inclui *Kibana*, *Beats* e *Logstash*. A média da variável é 1.05, o que significa que *Elasticsearch* está na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana da variável é 1.00. O desvio padrão é de 0,214. A variância da variável é 0.0459. O mínimo da variável é 1, o que significa que *Elasticsearch* estão na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo da variável é 3, o que significa que *Elasticsearch* está na maturidade adoção planejamento e escopo.

#### 4.17 UTILIZAÇÃO DOS GÊMEOS DIGITAIS (GEMDIG)

Os gêmeos digitais são uma ferramenta poderosa para a indústria 4.0. Eles podem ser usados para simular processos, prever falhas e melhorar a eficiência (JAMIL; RAHMAN; FAWAD, 2022). A I4 é uma plataforma de gêmeos digitais que está sendo desenvolvida pela Siemens. A plataforma permite que os usuários criem e gerem gêmeos digitais de ativos físicos, processos e sistemas. Os gêmeos digitais podem ser usados para simular o comportamento de ativos físicos, prever falhas e melhorar a eficiência. A I4 também permite que os usuários compartilhem dados e colaborem em projetos (BARBIERE, 2016; MASUHR *et al.*, 2020). A Tabela 21 mostra a estatística descritiva desta tecnologia.

Tabela 21 – Análise de utilização dos gêmeos digitais

Variáveis	N	Missing	Mean	Median	SD	Variance	Minimum	Maximum
UTL GEMDIG Procprod	250	0	1.29	1.00	0,592	0.350	1	4
UTL GEMDIG Prevfalh	250	0	1.20	1.00	0,463	0.214	1	3
UTL GEMDIG Mantprev	250	0	1.10	1.00	0,355	0.126	1	3
UTL GEMDIG Desgpec	250	0	1.12	1.00	0,393	0.154	1	3
UTL GEM DIG Modvirprod	250	0	1.40	1.00	0,738	0.545	1	4

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

UTL GEMDIG Procprod é uma variável que mede a utilização de gêmeos digitais em processos de produção. A média das respostas foi de 1,29, o que significa que está na maturidade pré-adoção despreparado. A mediana das respostas foi de 1,00. O desvio padrão foi de 0,592. A variância das respostas foi de 0,350. O mínimo das respostas foram 1,00, o que significa que alguns usuários notam está na maturidade pré-adoção despreparado. O máximo das respostas foram 4,00, o que significa que alguns usuários notam no estágio de maturidade executante e proativo.

UTL GEMDIG Prevfalh é uma variável que mede a utilização de gêmeos digitais aplicado na previsão de falhas. A média das respostas foi de 1,20, o que significa que os usuários compreendem a maturidade pré-adoção despreparado. O desvio padrão foi de 0,463. A mediana das respostas também foi de 1,00. A variância das respostas foi de 0,214. O mínimo das respostas foram 1,00, o que significa que alguns usuários notam a maturidade pré-adoção despreparado. O máximo das respostas foram 3,00, o que significa que alguns usuários notam a maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL GEMDIG Mantprev é uma variável que mede a utilização de gêmeos digitais aplicado na manutenção preventiva. A média das respostas foi de 1,10, o que significa que os usuários compreendem a maturidade pré-adoção despreparado. A mediana das respostas foi de 1,00. O desvio padrão foi de 0,355. A variância das respostas foi de 0,126. O mínimo das respostas foram 1,00, o , o que significa que os usuários compreendem a maturidade pré-adoção despreparado. O máximo das respostas foram 3,00 o que significa que alguns usuários notam a maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL GEMDIG Desgpec é uma variável que mede a utilização de gêmeos digitais aplicado a desgastes de peças. A média das respostas foi de 1,12, o que significa que os usuários compreendem a maturidade pré-adoção despreparado . A mediana das respostas também foi de 1,00. O desvio padrão foi de 0,393. A variância das respostas foi de 0,154. O mínimo das respostas foram 1,00 o que significa que os usuários compreendem a maturidade pré-adoção despreparado. O máximo das respostas foram 3,00, o que significa que alguns usuários notam a maturidade adoção planejamento e escopo.

UTL GEM DIG Modvirprod é uma variável que mede a utilização de gêmeos digitais aplicado a modelos virtuais de produto. A média das respostas foi de 1,40, o que significa que os usuários compreendem a maturidade pré-adoção despreparado. A mediana das respostas também foi de 1,00. O desvio padrão foi de 0,738. A variância das respostas foi de 0,545. O mínimo das respostas foram 1,00, o que significa que os usuários compreendem a maturidade pré-adoção despreparado. O máximo das respostas foram 4,00, alguns usuários notam no estágio de maturidade executante e proativo.

#### 4.18 ESCALA DE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0: DA FÁBRICA A FÁBRICA DO FUTURO

Uma escala de maturidade é um método de classificação de organizações de acordo com seu nível de maturidade em relação a um determinado tópico. As escalas de maturidade

são frequentemente usadas para avaliar o desempenho de organizações em áreas como gerenciamento de projetos, qualidade e segurança da informação (NAKANO *et al.*, 2021; SANTOS; MARTINHO, 2019).

Para desenvolver uma escala de maturidade, você deve primeiro definir o propósito da escala. O que você está tentando medir? O que a escala será usada para? Depois de definir o propósito, você deve identificar os critérios que serão usados para avaliar as organizações. Esses critérios devem ser relevantes para o propósito da escala e devem ser capazes de diferenciar as organizações de acordo com seu nível de maturidade (BIBBY; DEHE, 2018, SCHUH *et al.*, 2017). Depois de identificar os critérios, você deve definir os níveis de maturidade. Esses níveis devem ser claros e concisos, e devem refletir a diferença de maturidade entre as organizações. Veja a Tabela 22 os níveis e a descrição da escala aplicada no estudo.

Tabela 22 – Escala de maturidade *I4.0-Maturity Fabfut*

<b>Nível</b>	<b>Descrição</b>
<b>1. Pré-adoção despreparado</b>	As empresas não estão cientes ou não estão preparadas para as tecnologias da indústria 4.0. Elas não têm uma estratégia para adotar essas tecnologias e não estão investindo em recursos para fazê-lo.
<b>2. Adoção planejamento e escopo</b>	As empresas estão começando a se conscientizar das tecnologias da indústria 4.0 e estão desenvolvendo uma estratégia para adotá-las. Elas estão investindo em recursos para desenvolver e testar essas tecnologias, mas ainda não as estão usando em toda a sua capacidade.
<b>3. Experimental e consciente</b>	As empresas estão começando a usar tecnologias da indústria 4.0 em um ambiente experimental. Elas estão avaliando o valor dessas tecnologias e estão começando a desenvolver processos para integrá-las em suas operações.
<b>4. Executante e proativo</b>	As empresas estão usando tecnologias da indústria 4.0 em toda a sua capacidade. Elas estão integrando essas tecnologias em suas operações e estão obtendo benefícios significativos delas.
<b>5. Adaptabilidade e referência</b>	As empresas são líderes na adoção de tecnologias da indústria 4.0. Elas estão constantemente inovando e estão sempre à procura de novas maneiras de usar essas tecnologias para melhorar seus negócios.

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Utilizamos nesta etapa da pesquisa a análise de frequência que é uma técnica usada para descrever a distribuição de dados. Ela pode ser usada para contar o número de vezes que cada valor ocorre em um conjunto de dados, ou para calcular a probabilidade de cada valor ocorrer. A análise de frequência é uma ferramenta importante para a análise de dados, pois pode ajudar a identificar padrões e tendências nos dados (CRESWELL; CRESWELL, 2021; DEVELLIS; THORPE, 2021).

A média é uma medida de tendência central, que é uma medida que representa o valor médio de um conjunto de dados. A média pode ser calculada somando todos os valores de um conjunto de dados e dividindo a soma pelo número de valores no conjunto de dados (KLINE, 2023; HAIR, 2009; 2014). Primeiro, somamos todos os valores para obter uma soma total de



12.4. Em seguida, dividimos cada valor pelo total e multiplicamos por 100 para obter um valor percentual.

**Realidade aumentada:** A realidade aumentada (RA) é uma tecnologia que adiciona informações digitais ao mundo real (LIU, 2023). A RA obteve uma média geral entre suas tecnologias de 1 de pré-adoção despreparado com 7.04% de utilização nas empresas este nível, as empresas não estão cientes ou não estão preparadas para as tecnologias da indústria 4.0. Elas não têm uma estratégia para adotar essas tecnologias e não estão investindo em recursos para fazê-lo.

**Segurança da informação:** A segurança da informação é a proteção de dados contra ataques cibernéticos. Os ataques cibernéticos podem causar uma série de problemas para as empresas, incluindo perda de dados, interrupção dos negócios e danos à reputação. As empresas podem proteger seus dados contra ataques cibernéticos investindo em soluções de segurança da informação, como firewalls, antivírus e software de criptografia (WU *et al.*, 2023). A segurança da informação obteve uma média geral entre suas tecnologias de 2.2 experimental e consciente com uma utilização de 15,49% pelas empresas. Neste nível, as empresas estão começando a usar tecnologias da indústria 4.0 em um ambiente experimental. Elas estão avaliando o valor dessas tecnologias e estão começando a desenvolver processos para integrá-las em suas operações.

**Internet das coisas:** A internet das coisas (IoT) é a rede de dispositivos físicos interconectados que coletam e compartilham dados. Os dispositivos IoT podem ser usados para automatizar processos, melhorar a eficiência e fornecer novos insights para as empresas. As empresas podem aproveitar os benefícios da IoT investindo em dispositivos IoT, como sensores, termostatos inteligentes (CAO *et al.*, 2023). A IoT obteve uma média geral entre suas tecnologias de 1.4 pré-adoção despreparado com utilização de 9,85% pelas empresas.

**Computação em nuvem:** A computação em nuvem é um modelo de computação em que os recursos de computação, como armazenamento, processamento e rede, são fornecidos como serviços pela Internet (ZHANG *et al.*, 2022). A computação em nuvem pode ajudar as empresas a reduzir custos, melhorar a escalabilidade e aumentar a flexibilidade. A computação em nuvem obteve uma média geral entre suas tecnologias de 2 experimental e consciente com utilização de 16,36% pelas empresas.

**Sistemas integrados:** Os sistemas integrados são sistemas de computação que combinam diferentes tecnologias para fornecer uma solução única. Os sistemas integrados podem ajudar as empresas a melhorar a eficiência, a produtividade e a qualidade (ZHAO *et al.*,

2023). Sistemas integrados obteve uma média geral entre suas tecnologias de 2 experimental e consciente com utilização de 14,08% pelas empresas.

**Manufatura aditiva:** A manufatura aditiva é um processo que cria objetos tridimensional a partir de um modelo digital. A manufatura aditiva pode ser usada para produzir produtos novos e inovadores, e pode ajudar as empresas a reduzir custos e melhorar a eficiência. (VARO-MARTÍNEZ *et al.*, 2022). Manufatura aditiva obteve uma média geral entre suas tecnologias de 1 pré-adoção despreparado com utilização de 7,04% pelas empresas.

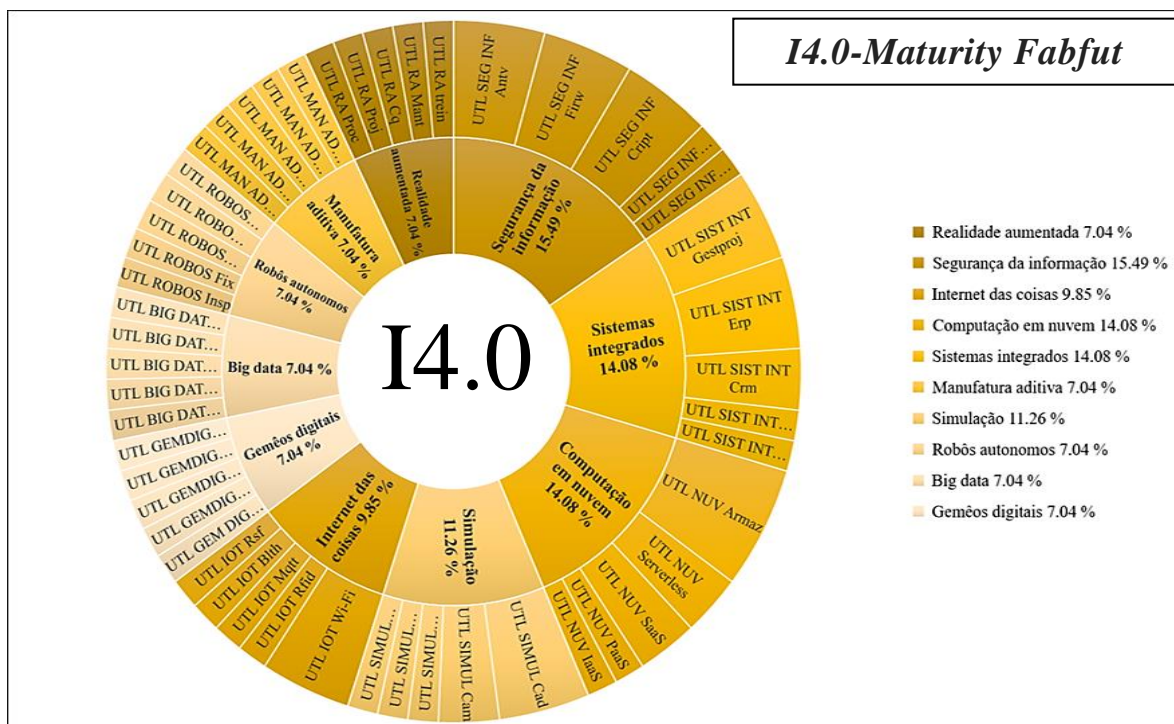
**Simulação:** A simulação é um processo que cria um modelo de um sistema real para estudar o comportamento do sistema. A simulação pode ser usada para testar novos produtos e processos, melhorar a eficiência e identificar possíveis problemas (VILLANUEVA *et al.*, 2024). Simulação obteve uma média geral entre suas tecnologias de 1,6 pré-adoção despreparado com utilização de 14,08% pelas empresas.

**Robôs autônomos:** Os robôs são máquinas que podem ser programadas para realizar tarefas automaticamente (AVHAD; SCHOU; MADSEN, 2023). Os robôs podem ser usados para automatizar processos, melhorar a eficiência e reduzir os riscos de lesões (SCHOLL, 2011). Robôs autônomos obteve uma média geral entre suas tecnologias de 1 pré-adoção despreparado com utilização de 7,04% pelas empresas.

**Big data:** Big data é o termo usado para descrever o grande volume de dados que estão sendo gerados todos os dias. Big data pode ser usado para identificar padrões e tendências, melhorar a tomada de decisão e desenvolver novos produtos e serviços (XIONG *et al.*, 2023). Big data obteve uma média geral entre suas tecnologias de 1 pré-adoção despreparado com utilização de 7,04% pelas empresas.

**Gêmeos digitais:** Os gêmeos digitais são modelos digitais de sistemas físicos. Os gêmeos digitais podem ser usados para estudar o comportamento dos sistemas físicos, melhorar a eficiência e identificar possíveis problemas (YANG *et al.*, 2023). Gêmeos digitais obteve uma média geral entre suas tecnologias de 1 pré-adoção despreparado com utilização de 7,04% pelas empresas. A Figura 33 mostra a porcentagem de utilização das tecnologias habilitadoras da I4.0.

Figura 33 - Utilização das tecnologias habilitadoras da I4.0

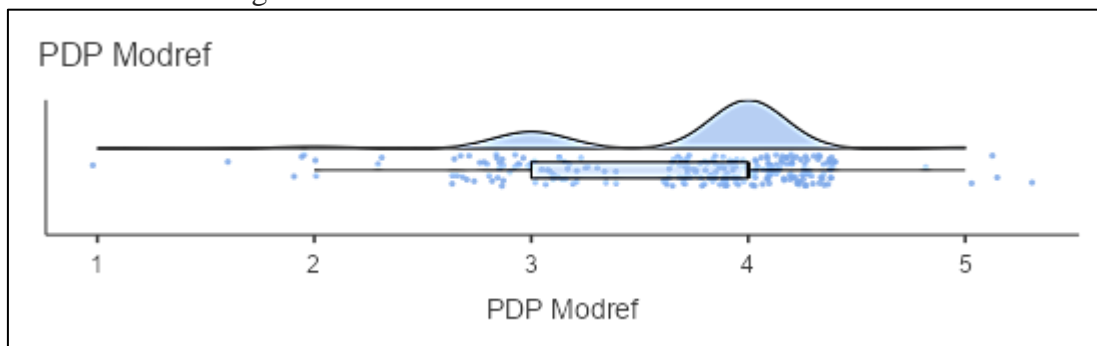


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

#### 4.19 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)

A variável modelo de referência de processo de desenvolvimento de produto a média foi de 3,70 com um desvio padrão de 0,583. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é 2,3329 o que significa que a distribuição é mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 3,63 a 3,77. A Figura 34 mostra a média e a distribuição dos dados da variável modelo de referência.

Figura 34 – Média da variável modelo de referência

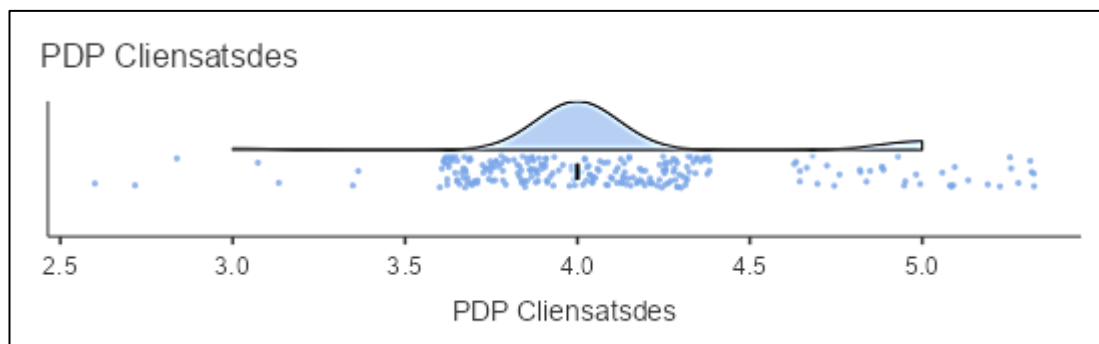


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A variável satisfação do cliente a média foi de 4,12 com um desvio padrão de 0,403. O valor mínimo é 3 e o máximo é 5. A curtose é 2,1592 o que significa que a distribuição é

mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 4,07 a 4,17. A Figura 35 mostra a média e a distribuição dos dados da variável satisfação do cliente.

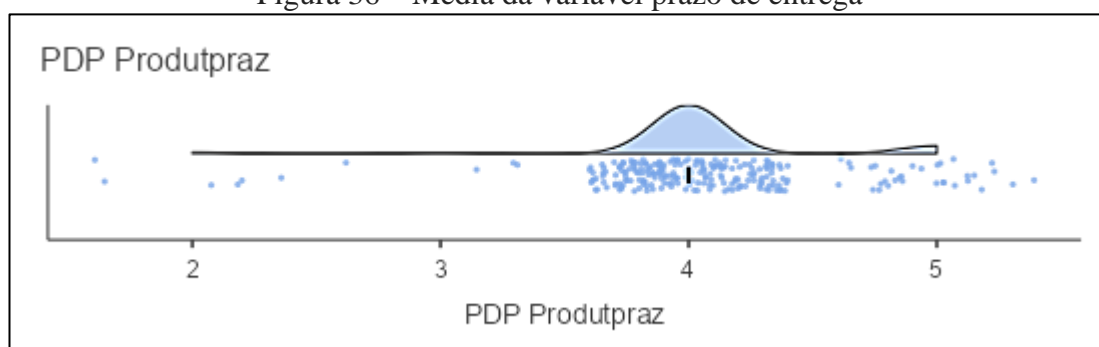
Figura 35 – Média da variável satisfação do cliente



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A variável prazo de entrega a média foi de 4,07 com um desvio padrão de 0,490. O valor mínimo é 2 e o máximo é 5. A curtose é 6,9237 o que significa que a distribuição é mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 4,01 a 4,13. A Figura 36 mostra a média e a distribuição dos dados da variável prazo de entrega.

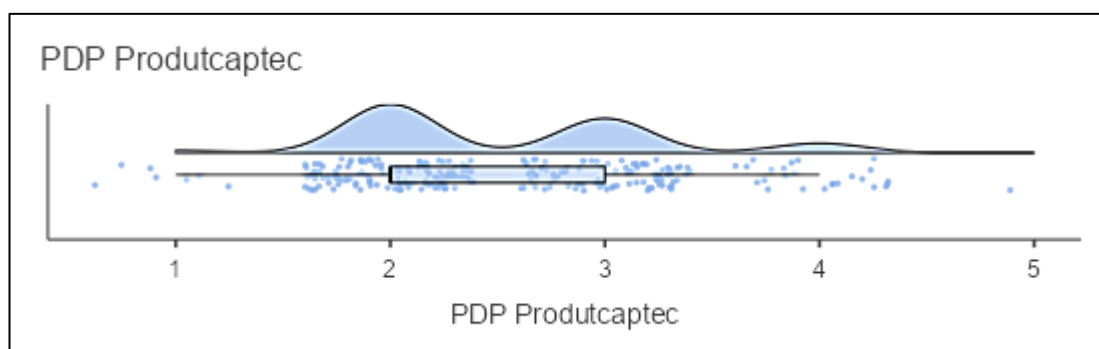
Figura 36 – Média da variável prazo de entrega



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A variável desenvolvimento das capacidades técnicas de cada profissional de desenvolvimento de produto a média foi de 2,54 com um desvio padrão de 0,728. O valor mínimo é 1 e o máximo é 5. A curtose é -0,0576 o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 2,45 a 2,63. A Figura 37 mostra a média e a distribuição dos dados da variável desenvolvimento das capacidades técnicas de cada profissional de desenvolvimento de produto.

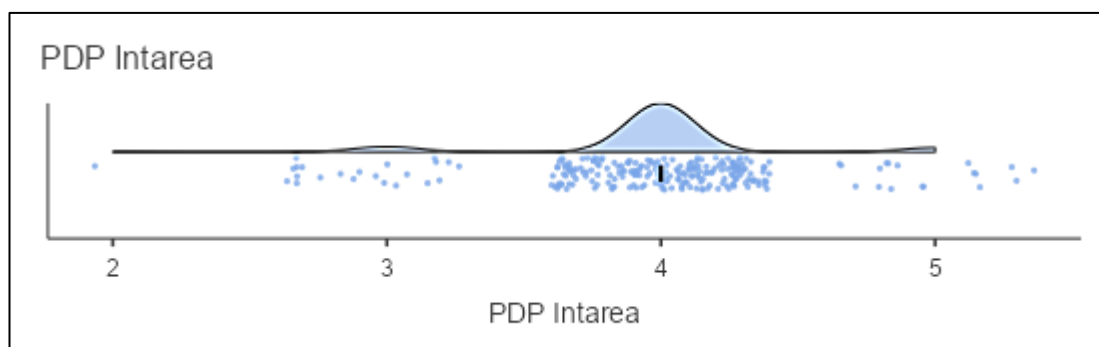
Figura 37 – Média da variável desenvolvimento das capacidades técnicas de cada profissional de desenvolvimento de produto



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A variável integração entre as áreas: comercial, manufatura, engenharia, qualidade e a área de desenvolvimento de produtos a média foi de 3,98 com um desvio padrão de 0,420. O valor mínimo é 2 e o máximo é 5. A curtose é 4,2575 o que significa que a distribuição é mais aguda do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 3,92 a 4,03. A Figura 38 mostra a média e a distribuição dos dados da variável integração entre as áreas: comercial, manufatura, engenharia, qualidade e a área de desenvolvimento de produtos.

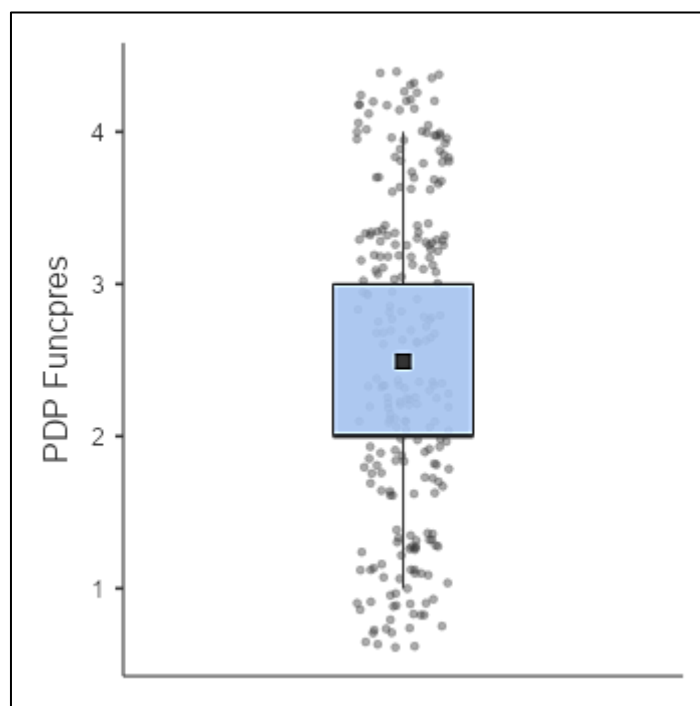
Figura 38 – Média da variável integração entre as áreas: comercial, manufatura, engenharia, qualidade e a área de desenvolvimento de produtos



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A variável de funcionalidades presentes nos seus produtos a média foi de 2,49 com um desvio padrão de 1,061. O valor mínimo é 1 e o máximo é 4. A curtose é -1,2188 o que significa que a distribuição é mais plana do que uma distribuição normal. O intervalo de confiança de 95% é de 2,36 a 2,62. A Figura 38 mostra a distribuição dos dados da variável funcionalidades presentes nos seus produtos.

Figura 39 – Frequência da variável funcionalidades presentes nos seus produtos



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

No que tange as funcionalidades 28,4% (n = 71) apresenta a funcionalidade de diagnóstico: examina as causas de falhas e redução de desempenho, 28,0% (n = 70) apresenta a funcionalidade descritiva: captura dados das condições do produto, ambiente e operações, 22% (n = 55) apresenta funcionalidade preditiva: detecta eventos que podem causar falhas e por último com 22,6% (n = 54) apresenta funcionalidade prescritiva : identifica ações para melhoria do desempenho ou correções de falhas.

#### 4.20 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS DE (PDP) *VERSUS* VARIÁVEIS DE (UTL)

Segundo Hair (2014), a correlação de Pearson é interpretada com base no valor do coeficiente (r), que varia de -1 a 1. Aqui estão algumas orientações para interpretar o coeficiente de correlação de Pearson:

1. Próximo a 1: Uma correlação positiva forte. Isso significa que, à medida que uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar na mesma proporção.
2. Próximo a -1: Uma correlação negativa forte. Isso indica que, à medida que uma variável aumenta, a outra tende a diminuir na mesma proporção.

3. Próximo a 0: Ausência de correlação linear. Não há relação linear significativa entre as variáveis.

Vale ressaltar que a correlação de Pearson avalia apenas a relação linear entre as variáveis. Portanto, mesmo que haja uma correlação forte ou fraca, não implica em causalidade ou outras formas de relacionamento. De acordo com Saunders; Lewis; Thornhill (2014), valores estatísticos geralmente utilizados para interpretar a força da correlação de Pearson são:

Correlação muito fraca: Valor de  $r$  entre 0 e 0,2.

Correlação fraca: Valor de  $r$  entre 0,2 e 0,4.

Correlação moderada: Valor de  $r$  entre 0,4 e 0,6.

Correlação forte: Valor de  $r$  entre 0,6 e 0,8.

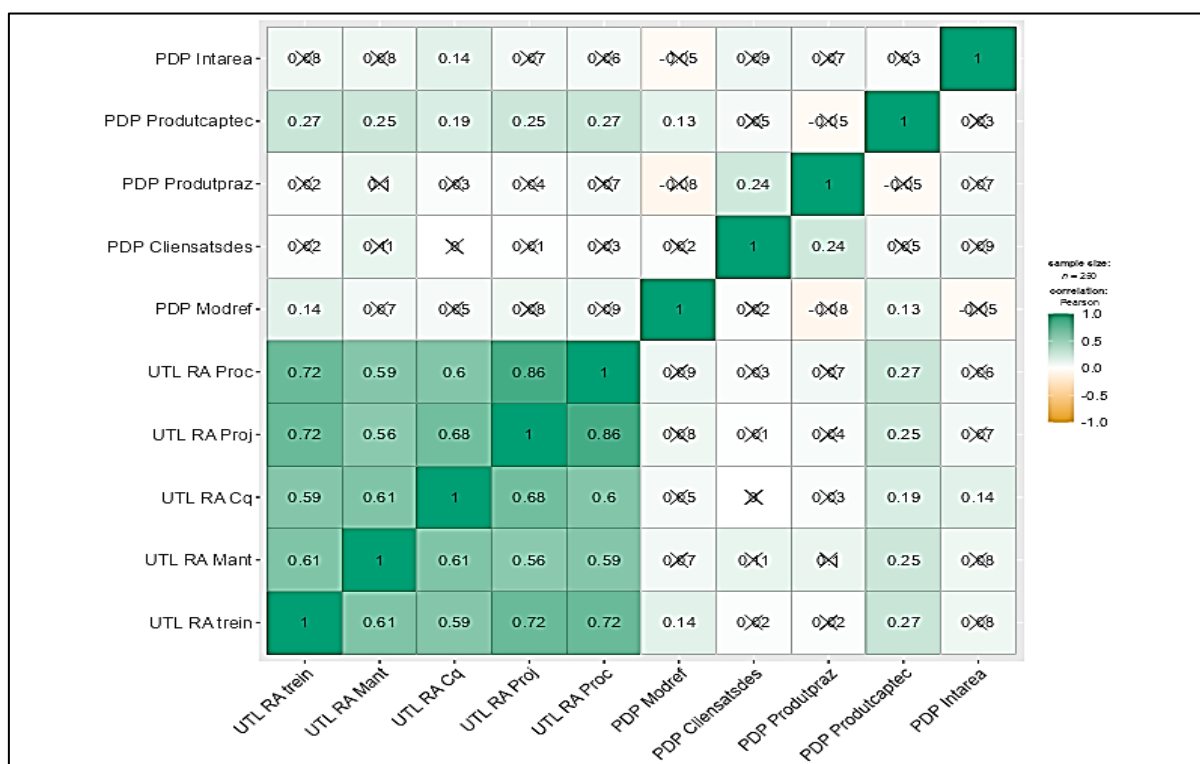
Correlação muito forte: Valor de  $r$  entre 0,8 e 1.

Esses intervalos são apenas referências e podem variar dependendo do campo de estudo e da aplicação específica. No entanto, esses valores são frequentemente utilizados como guias para interpretar a força da correlação de Pearson. A interpretação da correlação deve ser feita considerando-se também o contexto da análise, a natureza das variáveis e a finalidade do estudo (SAUNDERS; LEWIS; THORNHILL, 2014). O valor  $p$ , é um indicador da significância estatística da correlação. Valores de  $p$  menores que um nível de significância pré-determinado geralmente indicam que a correlação é estatisticamente significativa.

Para o devido cálculo da correlação o tipo de estatística paramétrica com comparações significativas pelo modelo de ajustamento de Holm. O modelo de ajuste de Holm baseia-se na ideia de ajustar o nível de significância para cada teste de acordo com a quantidade de dados disponíveis. Quanto mais dados disponíveis, menor o nível de significância deve ser. Isso ocorre porque é menos provável que um resultado significativo seja observado por acaso quando há mais dados disponíveis (KLINE, 2023; HAIR, 2009).

A realidade aumentada é uma tecnologia que adiciona informações digitais ao mundo real em tempo real (SEELIGER; CHENG; NETLAND, 2023). A Figura 40 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) da realidade aumentada.

Figura 40 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) da realidade aumentada.



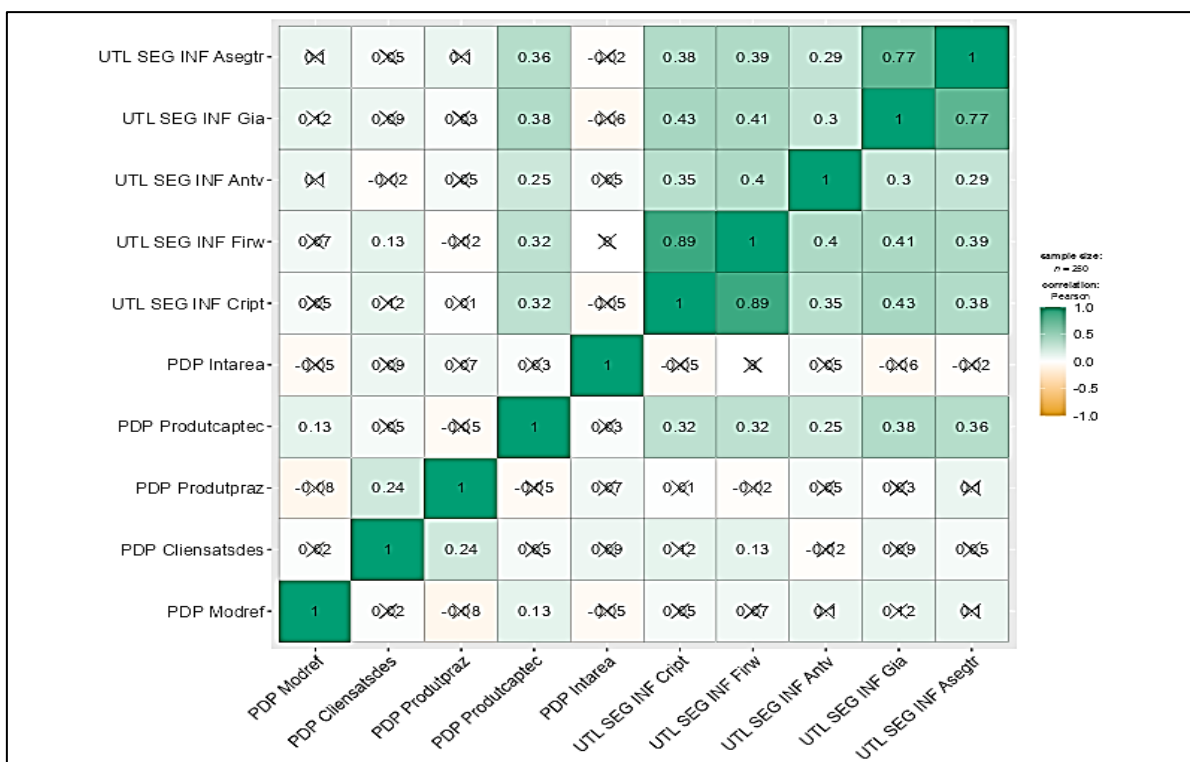
Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A correlação entre as variáveis de PDP e UTL RA é fraca. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtpraz e UTL RA trein, PDP Produtcaptec e UTL RA Cq, e PDP Intarea e UTL RA Proc indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar. O valor de  $r$  para cada correlação é de 0,25, 0,19 e 0,27, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,3, que é considerada fraca.

A segurança da informação é o processo de proteção de dados e sistemas contra acesso, uso, divulgação, modificação ou destruição não autorizados. É uma parte importante de qualquer negócio ou organização que lida com informações confidenciais, como dados financeiros ou informações de clientes (LI; XIAO; ZHANG, 2023). A Figura 41 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) segurança da informação.



Figura 41 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de segurança da informação

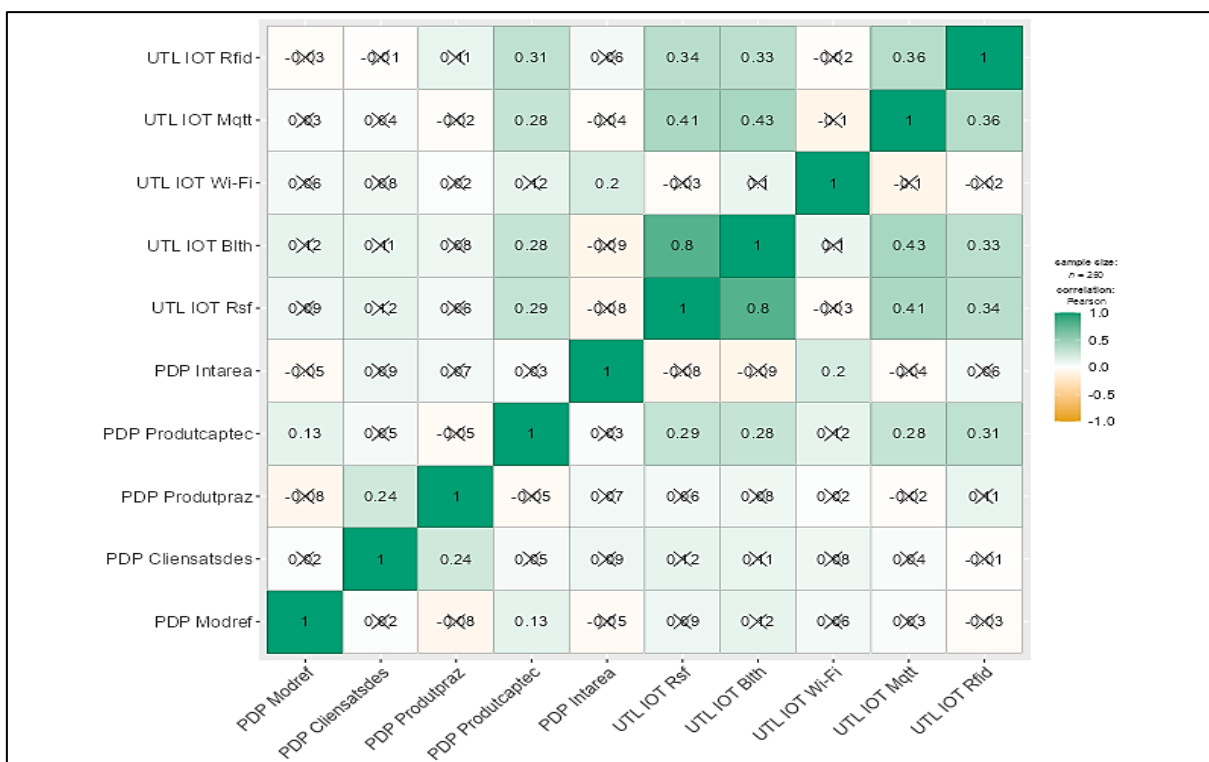


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A correlação entre as variáveis de PDP e UTL SEG INF é fraca. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtrapraz e UTL SEG INF Cript, UTL SEG INF Firw, UTL SEG INF Antv, UTL SEG INF Gia, e UTL SEG INF Asegrtr indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,32, 0,32, 0,25, 0,36, e 0,36, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,2 a 0,4, que é considerada fraca.

A Internet das Coisas (IoT) tem transformado a indústria de forma significativa. Com a interconexão de dispositivos e sistemas, a IoT permite o monitoramento em tempo real de processos industriais, proporcionando maior eficiência e produtividade. Através da coleta e análise de dados, é possível identificar falhas e realizar manutenções de forma preventiva, evitando paradas não programadas (ELSISI; AMER; SU, 2023). Além disso, a IoT possibilita o gerenciamento inteligente da cadeia de suprimentos, permitindo rastrear e monitorar produtos em todas as etapas, desde a produção até a entrega. Com a IoT, a indústria alcança um novo patamar de automação e conectividade, impulsionando a inovação e aprimorando os processos industriais. A Figura 42 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) da Internet das Coisas.

Figura 42 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de Internet das Coisas

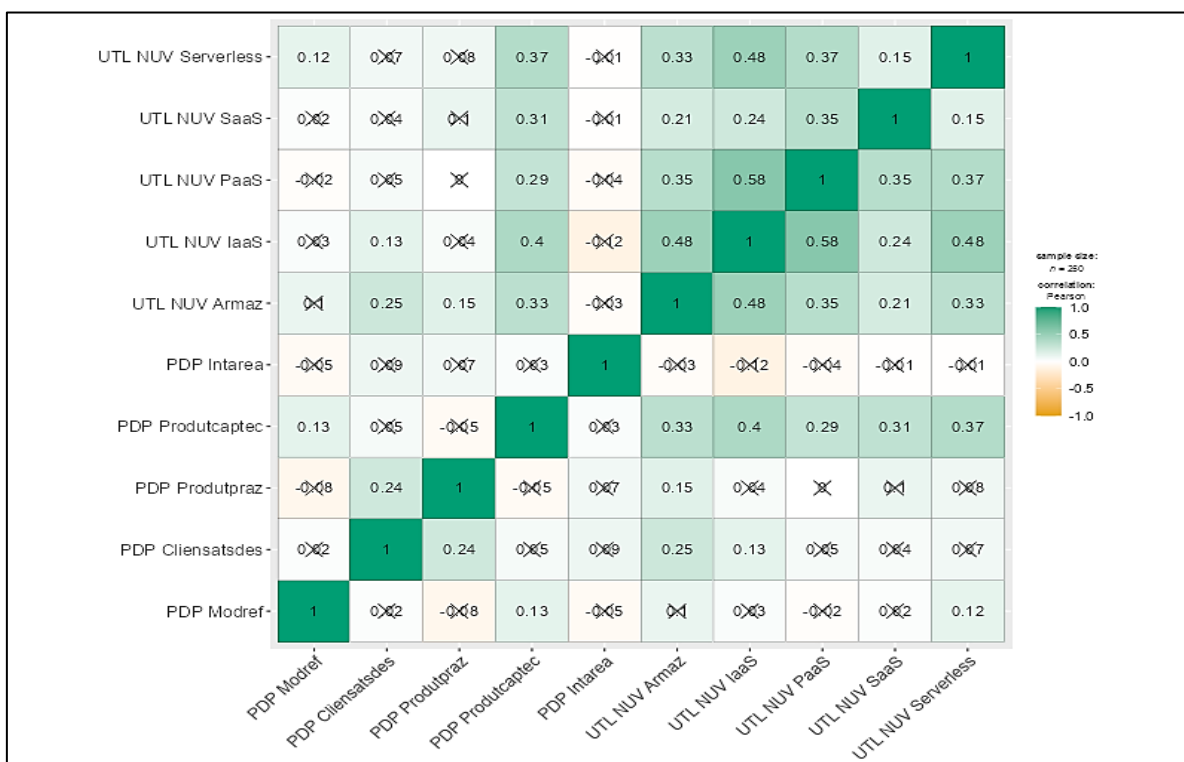


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A correlação entre as variáveis de PDP e UTL IOT é fraca. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtpraz e UTL IOT Rsf, UTL IOT Blth, UTL IOT Wi-Fi, UTL IOT Mqtt, e UTL IOT Rfid indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,28, 0,27, 0,11, 0,29, e 0,31, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,3, que é considerada fraca.

A computação em nuvem tem se tornado uma ferramenta essencial na indústria. Com a capacidade de armazenar e processar grandes quantidades de dados de forma remota, a nuvem oferece vantagens significativas para as empresas industriais. Através da computação em nuvem, é possível acessar informações e recursos de qualquer lugar e a qualquer momento, facilitando a colaboração e o compartilhamento de dados entre equipes e unidades de produção (TIAN *et al.*, 2023). Além disso, a nuvem permite escalabilidade, ou seja, a capacidade de aumentar ou diminuir a capacidade de armazenamento e processamento de acordo com as necessidades da indústria. A Figura 43 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) da computação em nuvem.

Figura 43 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) de computação em nuvem

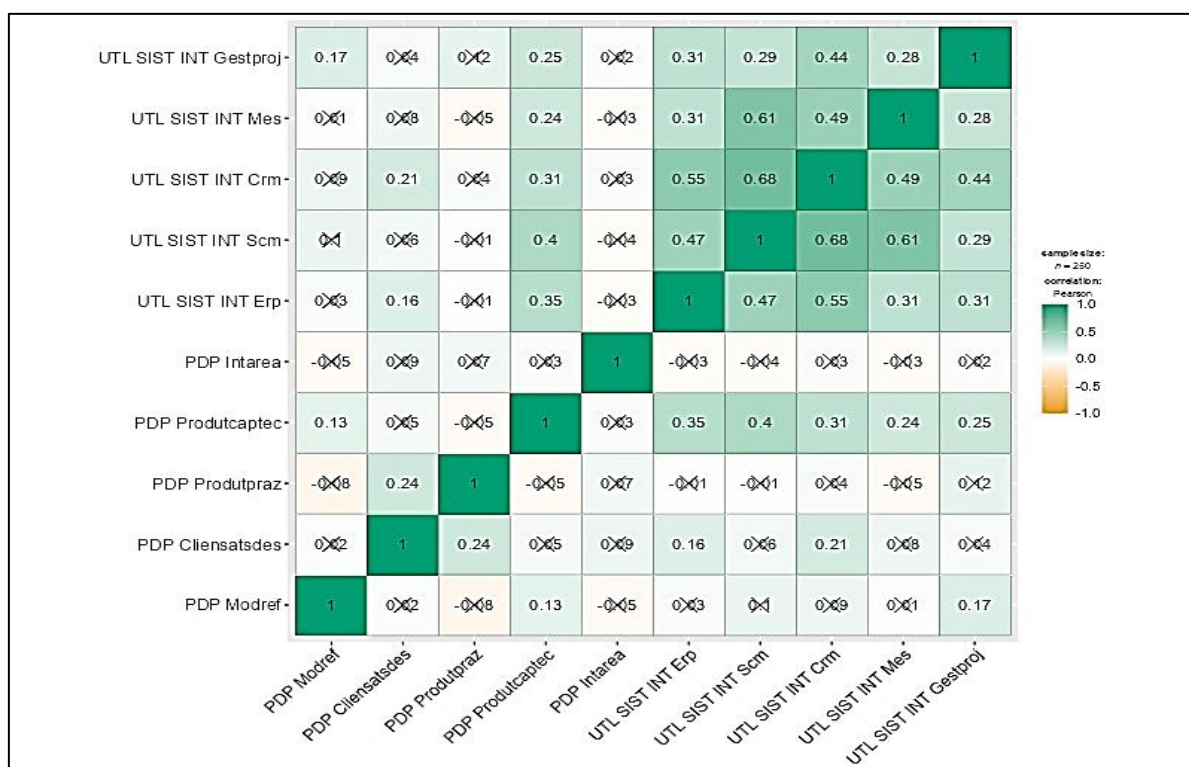


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A correlação entre as variáveis de PDP e UTL NUV é fraca. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtpraz e UTL NUV Armaz, UTL NUV IaaS, UTL NUV PaaS, UTL NUV SaaS, e UTL NUV Serverless indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,25, 0,13, 0,45, 0,37, e 0,12, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,4, que é considerada fraca.

A utilização de sistemas de informação na indústria tem se mostrado fundamental para o seu sucesso e competitividade. Esses sistemas permitem a coleta, armazenamento e análise de dados, fornecendo informações estratégicas para a tomada de decisões (OZTEMEL; GURSEV, 2020). A Figura 44 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) de sistemas de informação.

Figura 44 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de sistemas de informação

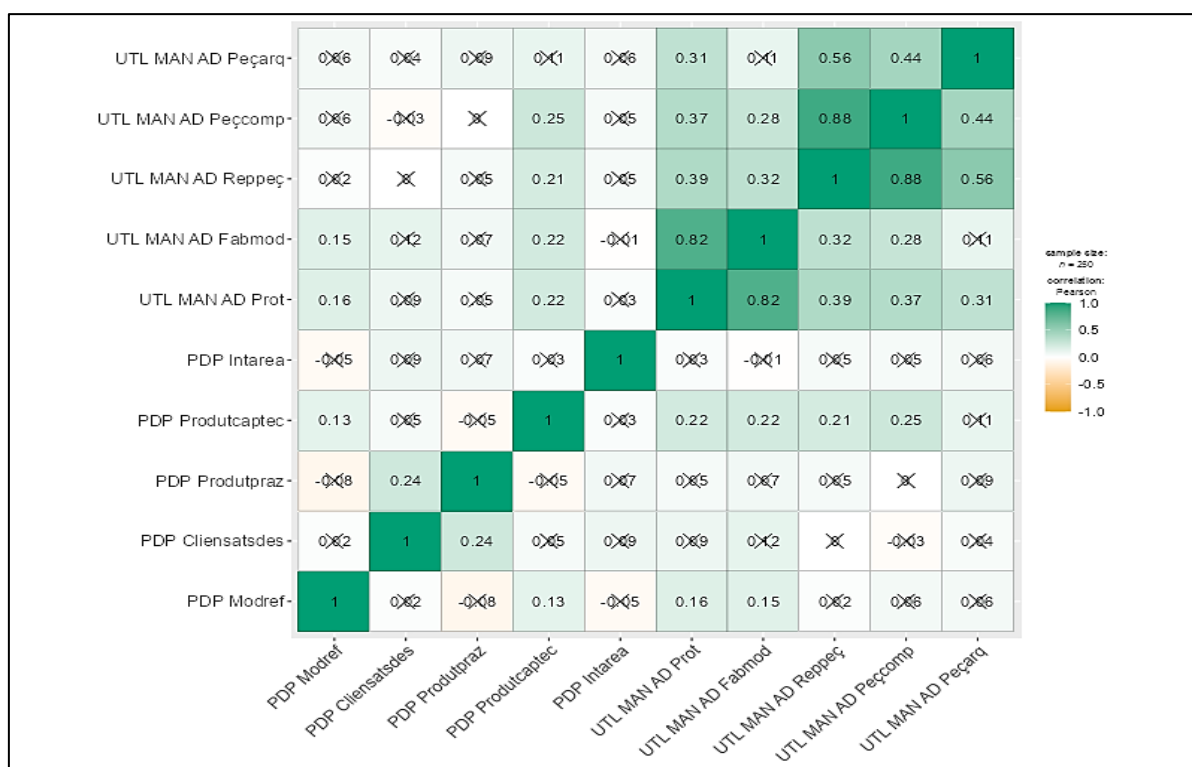


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A correlação entre as variáveis de PDP e UTL SIST INT é fraca. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtraz e UTL SIST INT Erp, UTL SIST INT Scm, UTL SIST INT Crm, UTL SIST INT Mes, e UTL SIST INT Gestproj indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,16, 0,17, 0,21, 0,22, 0,25, 0,24, 0,31, 0,40, e 0,35, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,4, que é considerada fraca.

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, é uma tecnologia que vem ganhando destaque na indústria. Essa abordagem revolucionária permite a criação de objetos e peças a partir de um desenho digital, adicionando camada por camada de material. Na indústria, a manufatura aditiva tem o potencial de transformar a forma como os produtos são fabricados, permitindo maior flexibilidade e personalização (MUKAI; LI; SUH, 2021). A Figura 45 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de sistemas de informação.

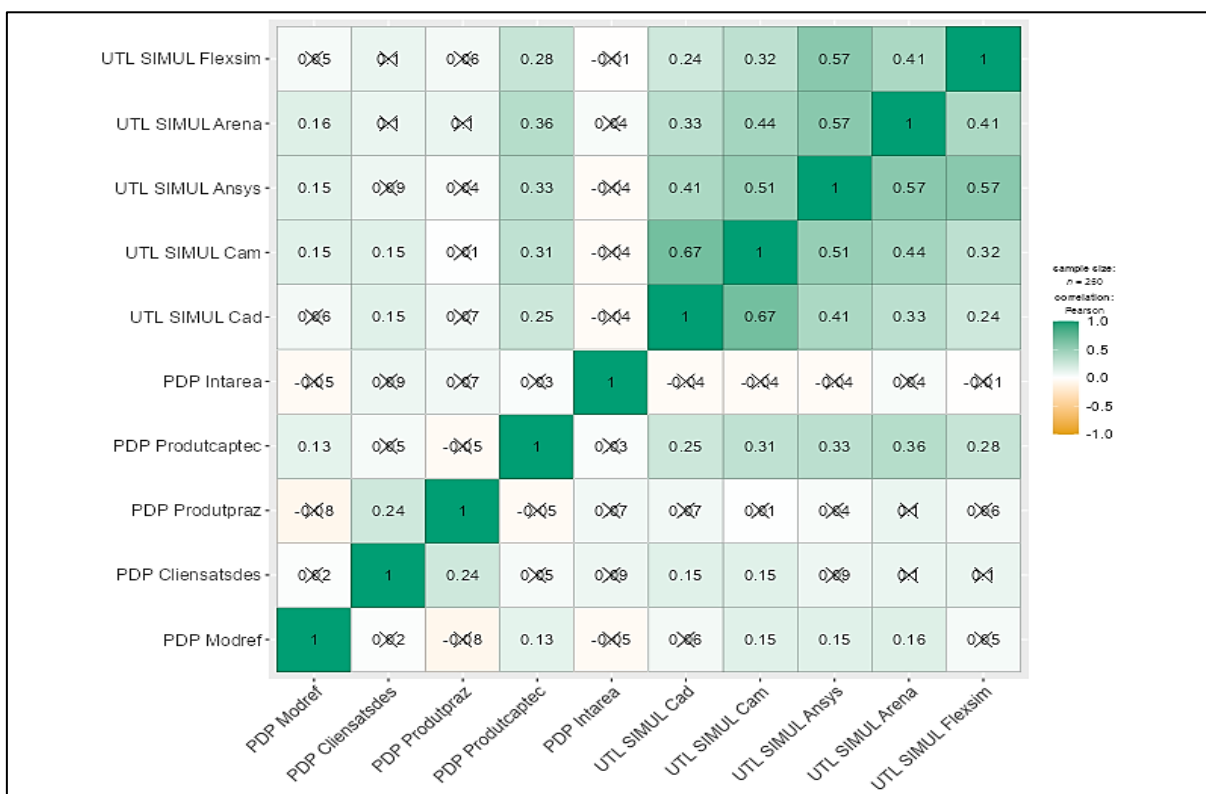
Figura 45 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) da manufatura aditiva



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

As correlações entre as variáveis de PDP e UTL MAN AD é fraca. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtpraz e UTL MAN AD Prot, UTL MAN AD Fabmod, UTL MAN AD Peçcomp, e UTL MAN AD Peçarq indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar, mas não de forma muito forte. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,16, 0,15, 0,25, 0,21 e 0,22, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,2, que é fraca.

A simulação tem se tornado uma ferramenta essencial na indústria. Por meio da criação de modelos virtuais, a simulação permite testar e validar processos, sistemas e produtos antes mesmo de sua implementação física. Na indústria, essa abordagem é especialmente útil para identificar gargalos, otimizar a produção e reduzir custos (RUBMANN *et al.*, 2015). A Figura 46 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) da simulação.

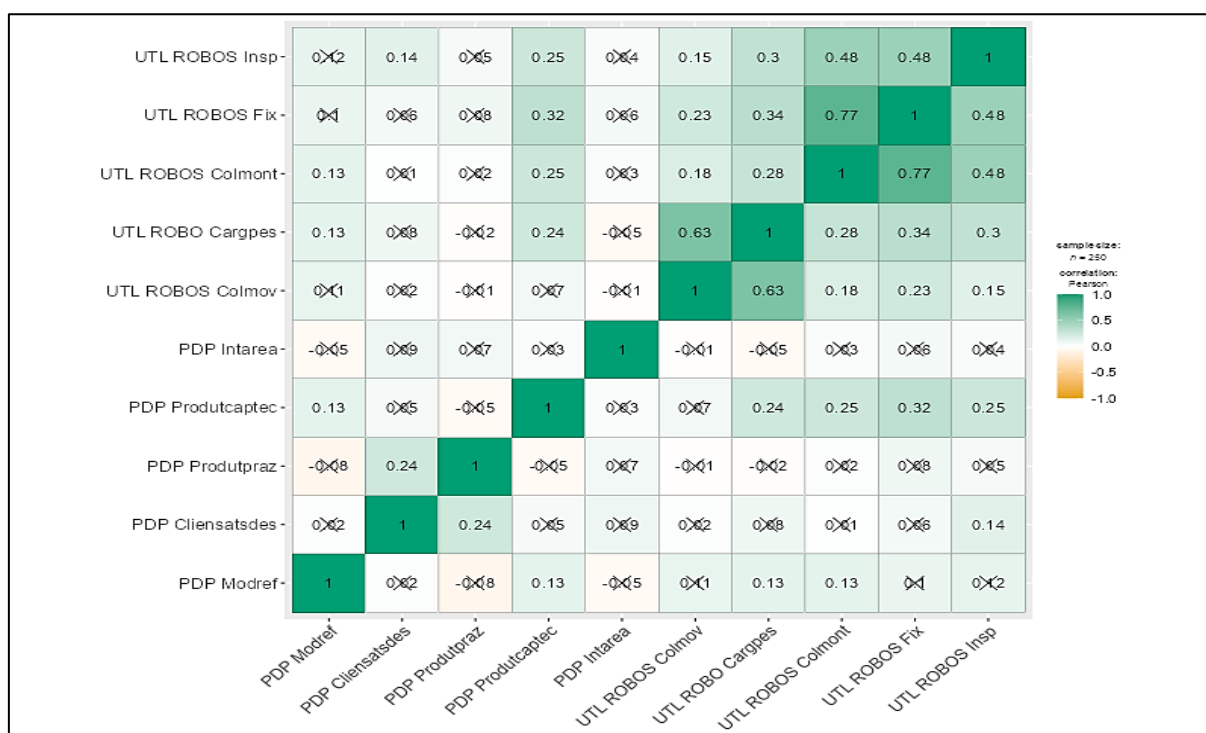
Figura 46 - Correlação entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) da simulação

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

As correlações entre as variáveis de PDP e UTL SIMUL é fraca. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Productpraz e UTL SIMUL Arena, UTL SIMUL Flexsim, PDP Productcaptec e UTL SIMUL Arena, e PDP Productcaptec e UTL SIMUL Flexsim indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar, mas não de forma muito forte. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,15, 0,16, 0,28, 0,36, 0,33, 0,31 e 0,25, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,4, que é considerada fraca.

Os robôs autônomos estão revolucionando a indústria. Esses equipamentos são capazes de realizar tarefas de forma independente, sem a necessidade de intervenção humana constante. Na indústria, os robôs autônomos têm sido utilizados para aumentar a eficiência e a produtividade, reduzindo o tempo de produção e os erros humanos (XU *et al.*, 2021). A Figura 47 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) da simulação.

Figura 47 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) de robôs autônomos

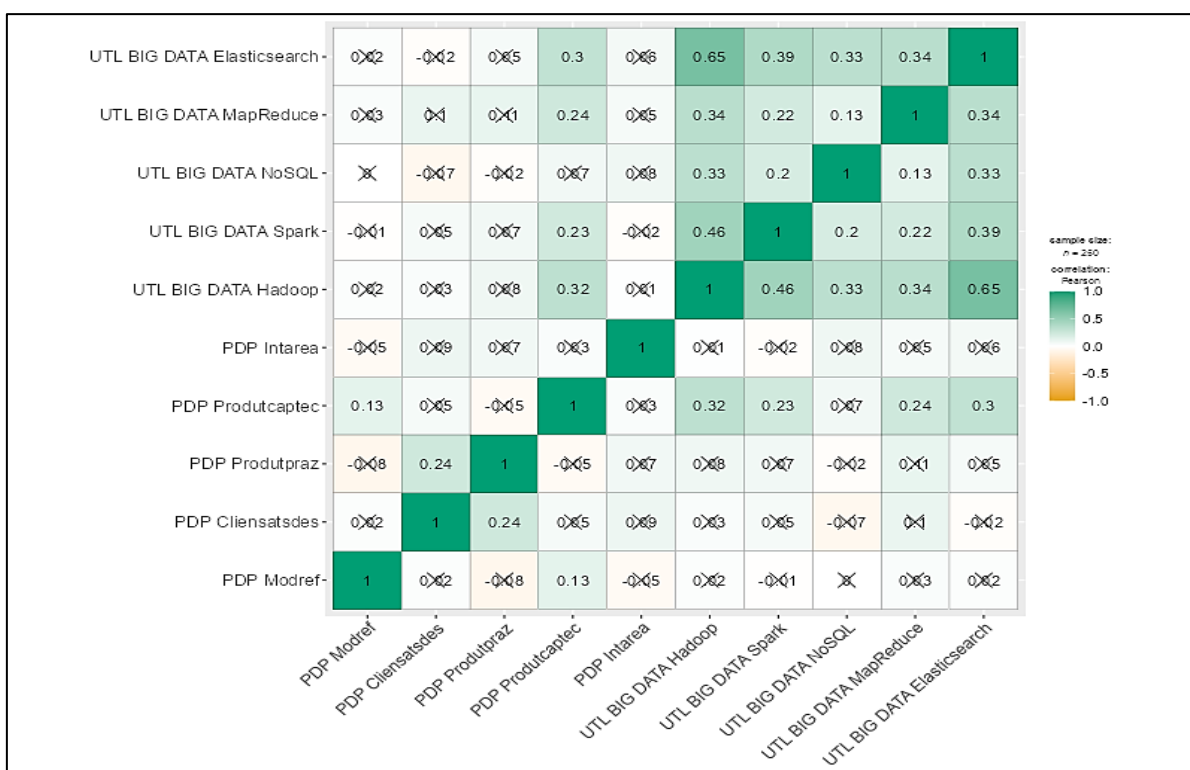


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

As correlações entre as variáveis de PDP e UTL ROBOS são fracas. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtrapaz e UTL ROBOS Colmov, UTL ROBOS Cargpes, UTL ROBOS Colmont, UTL ROBOS Fix, e UTL ROBOS Insp indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar, mas não de forma muito forte. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,13, 0,14, 0,25, 0,32 e 0,24, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,4, que é considerada fraca.

Com o avanço da tecnologia, as empresas têm acesso a uma quantidade exponencial de dados provenientes de diversas fontes, como sensores, redes sociais e transações comerciais. Esse enorme volume de informações pode ser aproveitado para tomar decisões estratégicas e impulsionar a eficiência operacional. A análise de Big Data na indústria permite identificar padrões, tendências e insights ocultos, fornecendo uma visão mais profunda dos processos de negócios e do mercado. Com base nessas análises, as empresas podem otimizar a produção, melhorar a qualidade do produto, personalizar experiências para os clientes e antecipar demandas futuras (FATHI *et al.*, 2022). A Figura 48 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) *versus* as variáveis de (UTL) do Big Data.

Figura 48 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) do Big Data



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

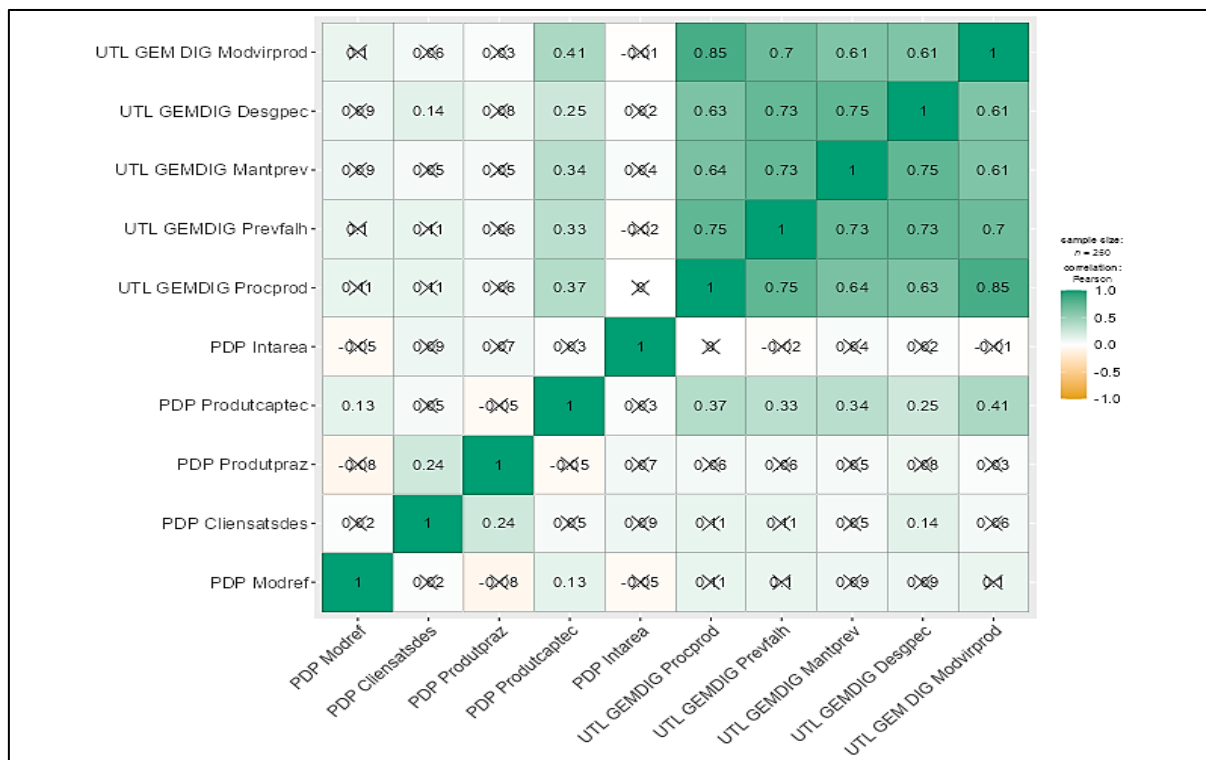
As correlações entre as variáveis de PDP e UTL BIG DATA são fracas. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtpraz e UTL BIG DATA Hadoop, UTL BIG DATA Spark, UTL BIG DATA NoSQL, UTL BIG DATA MapReduce, e UTL BIG DATA Elasticsearch indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar, mas não de forma muito forte. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,13, 0,30, 0,24, 0,23, e 0,32, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 1 a 3, que é considerada fraca.

Os gêmeos digitais estão transformando a indústria de forma significativa. Essa tecnologia revolucionária permite criar uma réplica virtual de um produto, processo ou sistema, com base em dados em tempo real. Os gêmeos digitais podem ser utilizados para simular o desempenho e o comportamento de um produto antes mesmo de sua fabricação, permitindo otimizar o design e reduzir custos. Além disso, eles são capazes de monitorar e analisar o desempenho em tempo real, identificando possíveis falhas e otimizando a manutenção (MASUHR *et al.*, 2020). Com os gêmeos digitais, a indústria ganha maior eficiência operacional, tomada de decisões mais assertivas e uma visão completa do ciclo de vida de um



produto ou processo. A Figura 49 mostra a correlação entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de gêmeos digitais.

Figura 49 – Correlação de Pearson entre as variáveis de (PDP) versus as variáveis de (UTL) de gêmeos digitais



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

As correlações entre as variáveis de PDP e UTL GEMDIG são fracas. As correlações positivas significativas entre as variáveis PDP Produtpraz e UTL GEMDIG Procpod, UTL GEMDIG Prevfalh, UTL GEMDIG Mantprev, UTL GEMDIG Desgpec, e UTL GEM DIG Modvirprod indicam que, quando uma variável aumenta, a outra também tende a aumentar, mas não de forma muito forte. Os valores de  $r$  para cada correlação são de 0,14, 0,41, 0,25, 0,34, 0,33 e 0,37, respectivamente. Estes valores estão dentro da faixa de 0,1 a 0,4, que é considerada fraca.

#### 4.21 EXPDP PROPOSIÇÃO DE UM MODELO CONCEITUAL BASEADO NA LITERATURA E NOS RESULTADOS DA FASE QUANTITATIVA DE PESQUISA DO PROTÓTIPO VERSÃO 1

A fase de **geração de ideias** no modelo *stage-gate* é o primeiro estágio do processo de desenvolvimento de novos produtos. Nesta fase, o objetivo é gerar muitas ideias para novos

produtos ou serviços que atendam às necessidades dos clientes. O processo de geração de ideias geralmente começa com uma pesquisa de mercado para identificar as necessidades e desejos dos clientes. Esta pesquisa pode ser realizada por meio de pesquisas, entrevistas, grupos de foco ou outras formas de coleta de dados (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021). Nesta fase o pesquisador coletou os dados em 250 indústrias do setor metalmeccânico da serra gaúcha.

O **portão 1** do processo *stage-gate* é a primeira etapa de avaliação de um projeto de novos produtos. Nesta etapa, o objetivo é determinar se o projeto tem potencial para ser bem-sucedido e se deve ser levado para a próxima fase de desenvolvimento (COOPER; SUMER, 2016). Nesta fase o pesquisador avaliou relevância do tema de pesquisa, contextualização da pesquisa, justificativa acadêmica, justificativa prática, bibliometrias e revisões sistemáticas para o aporte teórico e metodológico até o exame de qualificação do projeto de tese em dezembro de 2021. Apresentou-se a caracterização amostral dos 250 casos por meio de análise de frequência. Foi feito dois teste estatísticos, o teste de normalidade (Shapiro-Wilk) onde apresentou que os dados são normais, teste de confiabilidade da escala (Alfa de Cronbach) análise de confiabilidade da escala a nível global ficou em 0,955 o que indica excelente confiabilidade (KLINE, 2023; HAIR, 2014).

O **estágio 1** do processo *stage-gate* é o estágio de investigação preliminar. Nesta fase, o objetivo é avaliar a viabilidade técnica e comercial de uma ideia para um novo produto ou serviço (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021). Nesta fase o pesquisador averiguou a importância da I4.0 para o setor metalmeccânico seria o bloco 2 “**Apêndice F**” do instrumento de coleta quantitativa. Possui 10 variáveis. Apresentou-se a estatística descritiva das 10 dimensões da I4.0 avaliando o seu grau de importância.

O **portão 2** do processo *stage-gate* é a segunda etapa de avaliação de um projeto de novos produtos/serviços. Nesta etapa, o objetivo é determinar se o projeto está bem alinhado com os objetivos da empresa e se pode ser viavelmente implementado (QIN; VAN DER RHEE, 2021). Foi feita a reavaliação dos pré requisitos do portão 1, (Relevância do tema de pesquisa, contextualização da pesquisa, justificativa acadêmica, justificativa prática, bibliometrias e revisões sistemáticas para o aporte teórico e metodológico até o exame de qualificação do projeto de tese em dezembro de 2021).

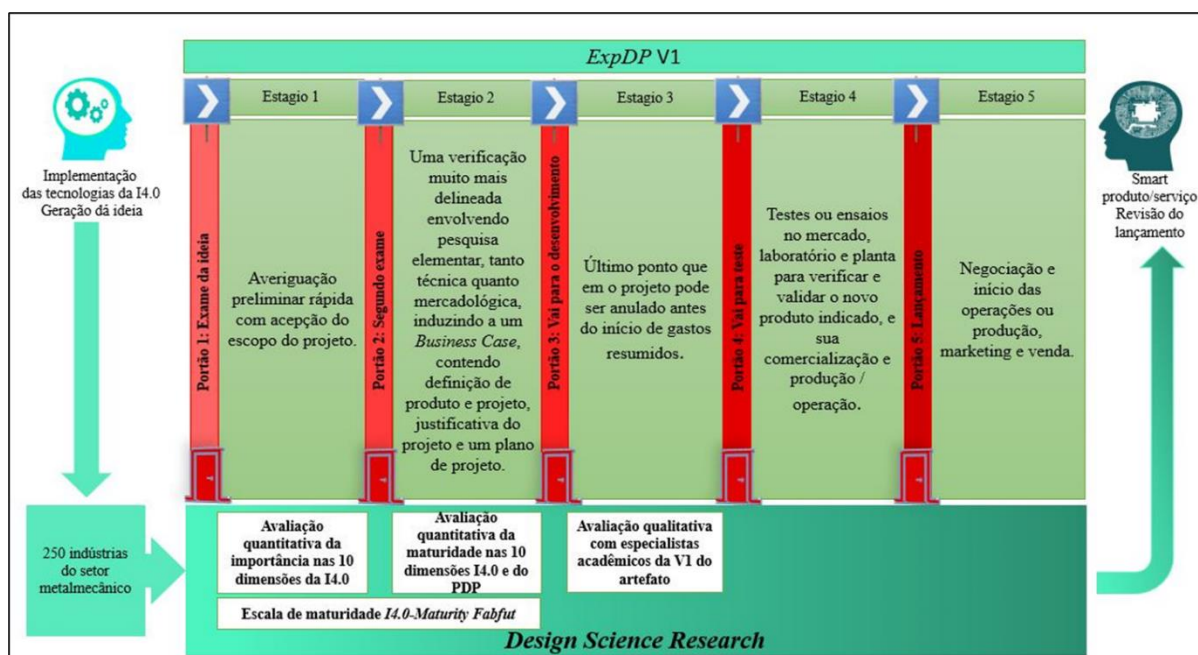
O **estágio 2** do processo *stage-gate* é o estágio de investigação detalhada. Nesta fase, o objetivo é definir o produto ou serviço com mais detalhes, incluindo suas características, especificações técnicas onde apresenta requisitos de fabricação (c). No atual estágio o pesquisador desenvolveu e validou uma escala do tipo Likert de 5 pontos sobre maturidade da I4.0 apresentada no bloco 3 “**Apêndice F**” do instrumento de coleta quantitativa desta pesquisa.

O bloco 3 apresenta 50 variáveis com tecnologias aplicadas na I4.0. Foi feita a estatística descritiva das 10 dimensões e apresentado os resultados. Como outro resultado da maturidade apresentou-se a (Tabela 22) com a escala e sua descrição e pôr fim a (Figura 31) que apresenta a escala de maturidade *I4.0-Maturity Fabfut*.

No estágio 2 analisou-se o processo de desenvolvimento de produto apresentado no bloco 4 “**Apêndice F**” do instrumento de coleta quantitativa desta pesquisa. Apresenta 6 variáveis sobre PDP. Foi apresentada a estatística descritiva sobre modelo de referência, satisfação dos clientes, desenvolvimento das capacidades técnicas dos profissionais de PDP, interação entre áreas de desenvolvimento de produto e funcionalidades do produto. Por último foi correlacionado as 50 variáveis das 10 dimensões de utilização (UTL) da I4.0 com as variáveis de (PDP), aplicando a estatística de correlação de Pearson, a correlação de (UTL) das 10 dimensões *versus* (PDP) foram fracas variando entre 0.1 e 0.4, mostrando que cada cada dimensão da variável (UTL) deve ser tratada independentemente da variável (PDP).

O **portão 3** do processo *stage-gate* é a terceira etapa de avaliação de um projeto de novos produtos. Nesta etapa, o objetivo é determinar se o produto ou serviço está pronto para ser lançado no mercado (COOPER; SUMER, 2016). Com a fase quantitativa terminada o pesquisador protótipo a versão 1 do artefato *EXPDP*.

O **estágio 3** do processo *stage-gate* é o estágio de desenvolvimento do produto ou serviço. Nesta fase, o objetivo é desenvolver o produto ou serviço de acordo com os requisitos definidos no estágio 2 (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021). O artefato 1 *EXPDP* está representado acima na Figura 48. Nesta fase o pesquisador fara avaliação qualitativa com especialistas acadêmicos seguindo os critérios do (Quadro 6), do “**Apêndice G**” – Protocolo da fase qualitativa de avaliação do artefato e do “**Apêndice H**” - Instrumento de pesquisa para avaliação qualitativa do artefato 1. A Figura 50 mostra artefato 1 *EXPDP*.

Figura 50 – Artefato 1 *EXPDP*

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

#### 4. 22 AVALIAÇÃO QUALITATIVA COM ESPECIALISTAS ACADÊMICOS

O **portão 4** no método *Stage-Gate* representa uma etapa no processo de desenvolvimento do produto. É o ponto em que o projeto é avaliado para determinar se está pronto para avançar para a próxima fase, que normalmente é a fase de desenvolvimento e testes. Durante o Portão 4, é realizada uma revisão abrangente do projeto para avaliar sua viabilidade, potencial de mercado e alinhamento com a estratégia geral de negócios. Esta porta serve como um ponto de verificação para garantir que o projeto ainda é viável e tem potencial para entregar os resultados desejados (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

A avaliação do protótipo V1 com especialistas acadêmicos é um processo crucial no desenvolvimento de qualquer projeto ou produto. Esses especialistas possuem conhecimento e experiência em suas respectivas áreas, o que lhes permite analisar e avaliar o artefato de forma crítica e detalhada. Durante a avaliação, os especialistas científicos examinaram os artefatos V1 em diversos aspectos, como funcionalidade, usabilidade, design, originalidade e contribuição para o campo de estudo. Eles buscam identificar pontos fortes e fracos, sugerir melhorias e fornecer feedback construtivo para o desenvolvedor ou equipe responsável (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

A avaliação dos relatórios V1 com especialistas científicos não se limita apenas aos aspectos técnicos. Eles também levam em consideração a relevância dos artefatos para a

comunidade acadêmica e sua contribuição para o avanço do conhecimento na área em questão (CRESWELL; CRESWELL, 2021; DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

Foram realizadas três entrevistas com doutores como parte de um estudo ou pesquisa. Essas entrevistas foram conduzidas com o objetivo de obter insights profundos e aprofundar o conhecimento sobre o assunto em questão. Os doutores selecionados para as entrevistas são especialistas em suas respectivas áreas de estudo, possuindo experiência e expertise relevantes para contribuir significativamente para a pesquisa. Cada entrevista foi cuidadosamente planejada e conduzida de forma a extrair o máximo de informações dos doutores. A Tabela 22 mostra o perfil dos entrevistados especialistas

Tabela 22 – Perfil dos especialistas

Universidade	Linha de pesquisa	Logradouro	Pesquisador	Função
Universidade de Caxias as do Sul – UCS.	Inovação e Competitividade.	Campus-Sede - Caxias do Sul - Bloco F, sala 401	E1 – Doutorado e Mestrado em Administração – UCS. Graduação em Economia - UCS.	Assistente de projetos TecnoUCS.
		Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Caxias do Sul – RS.		Professora.
Universidade de Caxias as do Sul – UCS.	Inovação e Competitividade.	Campus-Sede - Caxias do Sul - Bloco F, sala 401	E2 – Doutorado em Administração – UFRGS. Mestre em Administração – UCS. Graduado em Administração - UCS.	Coordenador de Desenvolvimento de Novos Negócios - Agência de Inovação UCSiNOVA na UCS.
		Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Caxias do Sul – RS.		Professor do PPGA - UCS.
Universidade Federal do Amazonas, Faculdade de Estudos Sociais. UFAM.	Operações e Mapeamento de modelos de maturidade e prontidão voltados para a Indústria 4.0	Av. Gal. Rodrigo Octávio Jordão Ramos, 3000, Setor Norte, Coroado I  CHAPADA  69077-000 - Manaus, AM – Brasil.	E3 – Doutorado em Engenharia de Produção – UFSC. Mestre em Engenharia de Produção – UFAM. Graduado em Administração – UFAM.	Professor Titular Faculdade de Estudos Sociais área da Administração

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Assim, os roteiros das entrevistas semiestruturadas foram aplicados por meio de agendamentos com os entrevistados no mês de setembro de 2023. Todas as entrevistas foram feitas de forma presencial. Os registros estão inseridos na análise realizada com o auxílio do *software* Weft-QDA. As entrevistas foram gravadas em vídeo para a transcrição, codificação e análise, tal como recomenda Bardin (2016). Além disso, foi executado também o protocolo de pesquisa (YIN, 2015) com o desígnio de orientar os contatos com os especialistas, a direção da

coleta de informações e a análise de dados da etapa qualitativa. O referido protocolo está descrito no **Apêndice “G”**.

As entrevistas semiestruturadas são um tipo de entrevista em que o entrevistador faz perguntas abertas e permite que o entrevistado responda livremente, sem qualquer estrutura ou formato específico. Essas entrevistas são comumente usadas em pesquisas qualitativas para coletar informações e percepções detalhadas dos participantes (YIN, 2015). A Tabela 23 apresenta o tempo de entrevista e quantidade de páginas transcritas.

Tabela 23 – Conteúdo gerado pelas entrevistas com os especialistas acadêmicos

<b>Código</b>	<b>Tempo de entrevista</b>	<b>Páginas transcritas</b>
<b>E1</b>	25 minutos	10
<b>E2</b>	43 minutos	19
<b>E3</b>	35 minutos	12
<b>Total de horas/páginas de entrevistas</b>	1h e 35 minutos	41 páginas

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Segundo Merriam (1998), no estudo qualitativo genérico, o pesquisador utiliza métodos como a análise de conteúdo, a codificação temática e a teoria fundamentada para identificar padrões, temas e categorias emergentes nos dados coletados. Essa abordagem permite uma exploração rica e detalhada dos contextos e processos sociais subjacentes aos fenômenos estudados. As categorias derivam das seguinte abordagem teórica do método DSR: A Tabela 24 mostra os elementos chave do referencial teórico e a metodologia de pesquisa.

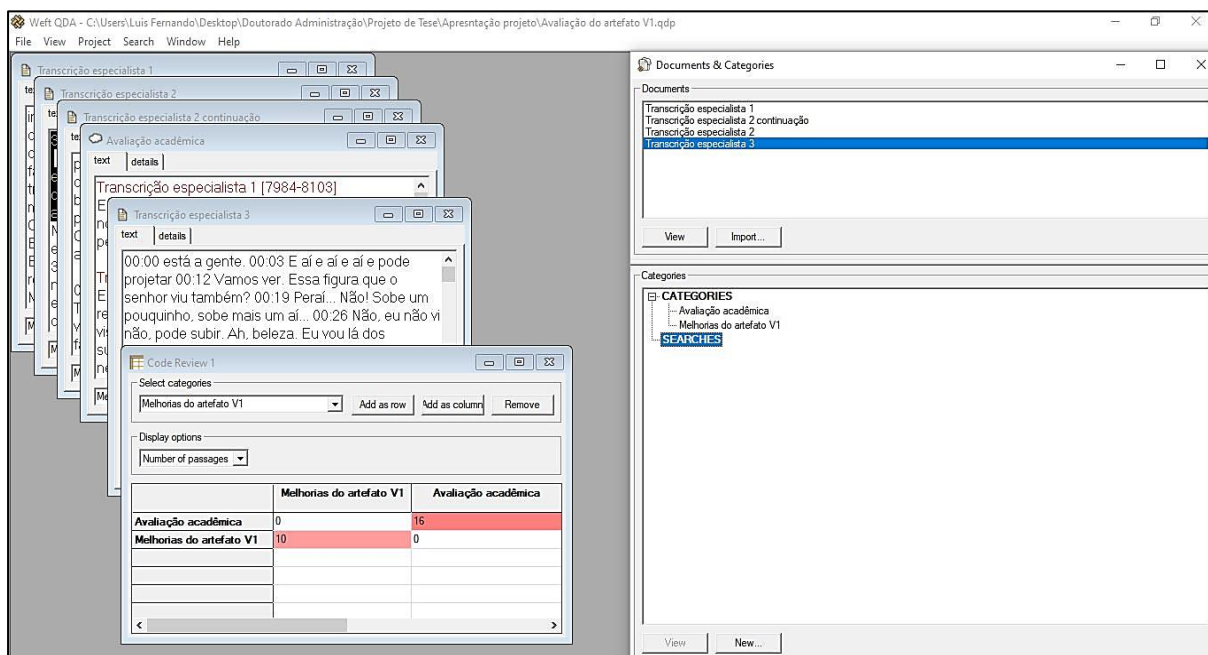
Tabela 24 – Categorias *a priori*

<b>Abordagem teórica</b>	<b>Categorias <i>a priori</i></b>
Metódo <i>Stage-gate e Design Science Research</i>	Avaliação acadêmica Melhorias do artefato V1

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A Figura 51 destaca as categorias empregadas para análise no *software* Weft-QDA a partir das categorias *a priori*, além das categorias que se sobressaíram, pois, tal como especificado por com Bardin (2016). são características da pesquisa qualitativa com base nos dados coletados para formar tais categoria (MERRIAM, 1998).

Figura 51 – Processo de análise de conteúdo e codificação



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

O processo de codificação e análise de conteúdo na pesquisa qualitativa genérica envolve várias etapas. Primeiro, os dados brutos, como entrevistas, observações ou documentos, são transcritos ou registrados. Em seguida, ocorre a codificação, que é o processo de identificar e categorizar trechos relevantes de dados. Essa codificação pode ser feita de forma aberta, onde categorias emergentes são identificadas durante a análise, ou de forma pré-determinada, utilizando categorias a priori. Após a codificação, ocorre a análise propriamente dita, onde os dados são examinados para identificar padrões, temas e tendências. Esse processo permite uma compreensão mais aprofundada do conteúdo e das percepções dos participantes, contribuindo para a geração de insights e a construção de conhecimento na pesquisa qualitativa genérica ( BARDIN, 2016; MERRIAM, 1998).

#### 4.22.1 Categoria avaliação acadêmica

O processo de avaliação e demonstração para o método DSR (*Design Science Research*) envolve várias etapas. Primeiro, ocorre a construção de um artefato, que é uma solução projetada para resolver um problema específico. Em seguida, o artefato é avaliado para verificar sua eficácia e efetividade na resolução do problema. Essa avaliação pode envolver testes, medições de desempenho e comparação com outras soluções existentes. Os resultados da avaliação são então documentados e comunicados à comunidade acadêmica e profissional.

A demonstração do artefato é feita através da apresentação de sua funcionalidade, benefícios e resultados alcançados. Esse processo de avaliação e demonstração é fundamental para validar a adequação e utilidade do artefato desenvolvido no contexto da pesquisa DSR (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015). O Quadro 11 mostra as perguntas de avaliação qualitativa e as respostas dos especialistas

Quadro 11 – Avaliação do artefato V1

Pergunta	Resposta
<p>1. O artefato pode ser utilizado em um cenário real de desenvolvimento?</p>	<p>E1 - Eu acredito que sim, porque você está se baseando nos autores, né, e tu tem uma base das tuas pesquisas quantitativas.</p> <p>E2 – Sim.</p> <p>E3 - Eu acho que sim, mas talvez precise de algum tipo de ajuste, no sentido da demonstração em si, da relação entre o próprio método e os teus indicadores, entendeu? Acho que está faltando alguma coisa aí no meio para facilitar.</p>
<p>2. O artefato apresenta clareza na apresentação dos elementos sobre o EXPDP?</p>	<p>E1 - Eu acredito que sim. Entendi. Tu tem alguma recopilação? Tá tranquilo aqui, deu pra ficar bem visualizado, bem esclarecido.</p> <p>E2 - Bom, eu acredito que sim, até porque a gente já falou do processo e como ele foi construído. Então, você tem a base das suas pesquisas quantitativas. Você tem a base teórica e a parte qualitativa e a validação. Então, eu acredito que atende.</p> <p>E3 - O funcionamento está claro. Muito bem, eu te parablenizo.</p>
<p>3. O artefato articula de forma satisfatória o caráter teórico e prático de pesquisa?</p>	<p>E1 - Sim. E me apresenta com caráter industrial, digamos assim, então acho que tu consegue relacionar bem o que traz a teoria e o que se espera na prática.</p> <p>E2 – Articula.</p> <p>E3 - Eu acho que sim, considerando que na verdade, entre as medições, principalmente na questão da maturidade, acho que tem um peso muito grande naquele estágio 2.</p>
<p>4. O artefato pode contribuir para evidenciar o rigor, relevância e contribuição para pesquisa acadêmica e a prática do mercado?</p>	<p>E1 - Eu acredito que sim, só ele deve ser de fácil acesso para quem for aplicar nas indústrias. Então tem que ter informações que sejam diretas para quem for aplicar o modelo, entender logo de cara o que você quer explicar. Então, acredito que sim, mas que quando tu for pensar no modelo final, tu leva isso em consideração.</p>



	<p>E2 - Pode, eu acho, inclusive, que aí tem uma contribuição prática muito relevante. Inclusive, assim, o que eu te sugeriria, tá, tu formatar isso como um produto mesmo, uma espécie de consultoria para as empresas, acho que tem um potencial bem interessante nesse sentido. Eu teria que registrar isso no negócio de propriedade intelectual lá também, como método. Pode até registrar, mas não sei se faz diferença, entendeu? De qualquer forma, é a tua marca registrada, e acho que ela tem um potencial bem legal.</p> <p>E3 - Não tem como avaliar. Mas os critérios que tu me demonstrastes, os princípios, os eixos, a concepção que tu me demonstrou, e considerando a própria base quantitativa que tu tem, eu acho que é muito possível.</p>
<p>5. O artefato pode contribuir para evidenciar o rigor, relevância e contribuição para o desenvolvimento de um produto/serviço?</p>	<p>E1 - Bom, eu acredito que sim, até porque a gente já falou do processo que ele foi construído. Então, você tem a base das suas pesquisas quantitativas. Você tem a base teórica e a parte qualitativa e a validação. Então, eu acredito que atende.</p> <p>E2 - Com certeza.</p> <p>E3 - Sem dúvida. Ou pela base do PDP, né? A base do PDP vai te dar essa amplitude.</p>

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Com base nas respostas, o artefato V1 parece ter potencial para ser utilizado em um cenário real de desenvolvimento, apresentar clareza na apresentação dos elementos, articular o caráter teórico e prático de pesquisa, além de contribuir para evidenciar o rigor, relevância e contribuição tanto para pesquisa acadêmica quanto para o desenvolvimento de um produto/serviço. No entanto, algumas sugestões e ajustes podem ser considerados para aprimorar a demonstração e a relação entre o método e os indicadores.

#### 4.22.2 Categoria melhorias do artefato V1

O processo de melhoria de um artefato V1 para um artefato V2 dentro do método DSR (*Design Science Research*) alinhado com o método *Stage-Gate* envolve a aplicação de etapas sequenciais para garantir a evolução e aprimoramento do artefato. O método DSR é uma abordagem de pesquisa que visa desenvolver e aperfeiçoar soluções práticas para problemas complexos através da criação de artefatos, enquanto o método *Stage-Gate* é um modelo de

gerenciamento de projetos que divide o processo em estágios específicos, onde cada estágio é avaliado antes de passar para o próximo (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021; DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

O E2 sugeriu criar protocolos para os estágios e portões, pois no artefato V1 estaria limitado pelo modelo *Stage-gate full* ou tradicional: A fala E2 corrobora com esta afirmação:

“Eu olho aqui, para o estágio 1 eu vou fazer uma avaliação quantitativa da importância nas dimensões, está? Perfeito, entendi. Eu vou lá pegar o instrumento, o instrumento de avaliação que tu mesmo propôs. Bom, atingir o estágio 1 está certinho. Estágio 2, está, agora eu vou fazer a avaliação quantitativa nas dimensões do PDP. Beleza, aquele instrumento lá que tu que...está sugerindo, tem como aplicar e tal. Beleza, cheguei no estágio 2. Agora chegue no estágio 3, aí o negócio ficou confuso, entendeu?

Como é que eu uso isso, eu como usuário, como... pessoa da indústria que vai pegar o teu artefato para aplicar, como é que eu uso este quadradinho ali? Essa é a minha dúvida.

Você está avaliando a importância das dimensões para a empresa, pra examinar a ideia, perfeito? Tu está avaliando a maturidade da empresa pra ela desenvolver ações naquela área, ótimo. E agora ela está querendo decidir se ela vai desenvolver ou não. Isso. O que é determinante para ela desenvolver um novo produto ou serviço? Cliente. Então, eu colocaria alguma espécie de validação da proposta com o cliente. Aí talvez, aí não sei se faria uma avaliação qualitativa, uma pesquisa com o cliente potencial, *focus group*, enfim, alguma ferramenta que te permitisse apresentar essa ideia para quem vai comprar o produto que está desenvolvendo e ver se esse produto realmente tem diferencial no mercado.

Desenvolver um protocolo... Isso, porque é o que eu estou vendo que seria interessante do teu artefato, entendeu? Porque agora você tem um mapeamento legal do que está acontecendo na indústria, você pegou e levantou como é que poderia ser um método ali, um artefato que a gente dê para as empresas a fazerem... (E2)”.

A avaliação com as empresas dentro do método DSR alinhado com o método *Stage-Gate* envolve a interação e colaboração das empresas durante o processo de melhoria e desenvolvimento do artefato. Essa avaliação é essencial para garantir que o artefato atenda às necessidades e requisitos das empresas e seja eficaz em resolver os problemas identificados. O E1 indagou sobre esta possibilidade:

“O que seria interessante antes de publicar o artefato é fazer um teste piloto, não sei se já está programado, mas fazer um teste piloto com alguma indústria até para validar um modelo (E1)”.

O E3 mencionou que trabalha com o valor dimensional em seu modelo de maturidade da I4.0, destaca a importância do entendimento dessas variáveis para compreender o estágio do modelo em questão. Ele explica que, dentro de uma organização, existem oito dimensões e que cada uma delas pode ter um valor diferente.

“Eu acho que seria interessante tu trazer as variáveis da maturidade, porque assim, não é só a escala da maturidade, as dimensões que elas medem? Exato. Toda aquele modelo que tu trouxeste, tu pode ver até o meu modelo, eu trabalho com o valor dimensional. Então, veja, esse valor, os valores dimensionais, ou as variáveis, quais sejam os modelos que são adotados, a importância do entendimento dessas variáveis te ajuda...nesse estágio, vamos chamar assim, do teu modelo, entendeu? Entendi. Porque eu acho que o estágio entre outro, a questão das variáveis que compõem o nível de maturidade, são fundamentais. Vou te explicar por quê. Porque eu tenho uma variável consolidada da organização, mas dentro daquela organização tem oito dimensões. Pode ser que uma dimensão tenha um valor menor que a outra. Então, ali dentro do estágio outro... O valor dimensionais é importante também (E3)”.

Analisando as falas dos entrevistados em relação à melhoria do artefato V1, podemos observar algumas sugestões e questionamentos relevantes. O entrevistado E2 sugere a criação de protocolos para os estágios e portões, pois acredita que o artefato V1 estaria limitado pelo modelo *Stage-gate full*. Essa sugestão é corroborada pela fala do mesmo entrevistado, onde ele questiona como utilizar estágio 3 do artefato (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021; DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

Já o entrevistado E1 menciona a importância de realizar um teste piloto com uma indústria antes de publicar o artefato, como forma de validar o modelo proposto. Essa é uma sugestão relevante, uma vez que um teste piloto permite identificar possíveis falhas ou ajustes necessários antes de implementar o artefato em um contexto mais amplo (LACERDA *et al.*, 2013).

O entrevistado E3 destaca a importância das variáveis da maturidade em seu modelo de maturidade da Indústria 4.0. Ele menciona que trabalha com o valor dimensional e ressalta a importância de compreender as variáveis e dimensões que compõem o modelo. Ele explica que, dentro de uma organização, existem oito dimensões que podem ter valores diferentes, o

que influencia o estágio do modelo de maturidade (SCHUMACHER; NEMETHA; SIHNA, 2019).

Com alicerce nestas falas, podemos concluir que as sugestões dos entrevistados E2 e E1, relacionadas à criação de protocolos e realização de teste piloto, podem contribuir para a melhoria do artefato V1. Além disso, a compreensão das variáveis da maturidade, como mencionado pelo entrevistado E3, pode ser fundamental para o desenvolvimento e avaliação desse artefato (CRONHOLM; GÖBEL, 2022).

#### **4.22.3 Criação dos protocolos de controle, atividades, relacionado aos estágios e portões do método *Stage-gate Full***

Dentro do método *Stage-Gate*, a criação de protocolos de atividade é uma prática que garantiria a consistência e eficiência do processo de desenvolvimento de produtos. Esses protocolos de atividade são diretrizes ou procedimentos específicos que definem as etapas e as atividades a serem realizadas em cada etapa do processo.

O método *Stage-gate* é um processo estruturado amplamente utilizado para gerenciar o desenvolvimento de novos produtos ou projetos. Ele consiste em uma série de etapas ou estágios, cada um com um conjunto específico de atividades e critérios de aprovação. Além disso, dentro do método *Stage-gate*, existem protocolos de controle que ajudam a garantir que o projeto esteja progredindo de acordo com as metas estabelecidas (QUINAZ, 2022).

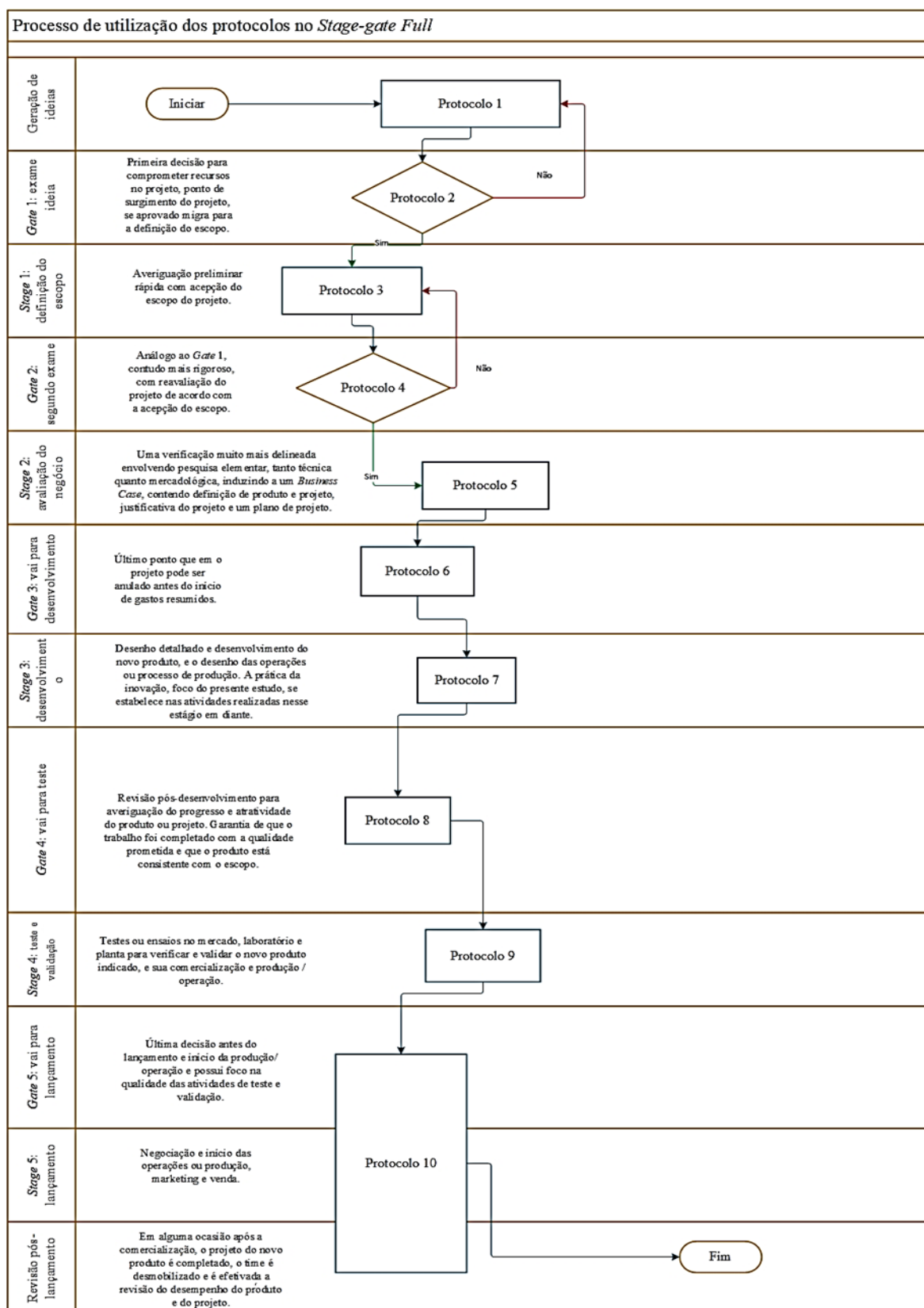
Os protocolos de controle são ferramentas críticas para monitorar e avaliar o progresso do projeto em cada estágio. Eles podem incluir revisões de desempenho, análises de viabilidade técnica e econômica, testes de mercado, entre outros. Esses protocolos permitem que os responsáveis pelo projeto tomem decisões informadas sobre a continuidade do desenvolvimento ou a necessidade de ajustes ou até mesmo a interrupção do projeto (QIN; VAN DER RHEE, 2021).

Segundo Cooper (2000), dentro de cada estágio, atividades específicas são realizadas para garantir que os objetivos estabelecidos sejam alcançados. Essas atividades podem variar dependendo da natureza do projeto, mas geralmente incluem pesquisa de mercado, desenvolvimento de conceito, prototipagem, testes, análise de riscos, planejamento de produção, entre outros.

O método *Stage-gate* tem como objetivo principal garantir a alocação eficiente de recursos, minimizando os riscos associados ao desenvolvimento de novos produtos. Ele permite que as organizações tomem decisões informadas e baseadas em evidências ao longo do

processo, garantindo que apenas projetos promissores e com potencial de sucesso sejam continuados (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

Os protocolos de atividade ajudam a padronizar o trabalho realizado em cada etapa, fornecendo orientações claras sobre as tarefas a serem executadas, os recursos necessários e os resultados esperados. O mapeamento de processo é uma etapa essencial no método *Stage-Gate*, pois permite uma visualização clara e estruturada de todas as etapas e atividades envolvidas no desenvolvimento de um novo produto ou projeto (QUINAZ, 2022). O objetivo do mapeamento de processo é fornecer uma visão geral do fluxo de trabalho, identificando as entradas, saídas e responsabilidades em cada estágio. A Figura 52 mostra o mapeamento de processo do método *Stage-gate Full* com a utilização dos protocolos.

Figura 52 – Método *Stage-gate Full* com a utilização dos protocolos

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

O detalhamento de um protocolo com atividades detalhadas para o processo de desenvolvimento de produto pode variar dependendo da organização. A Tabela 25 mostra os 10 protocolos criados e suas atividades.

Tabela 25 – Protocolos e atividades do *EXPDP*

<b>Protocolo</b>	<b>Atividade</b>	<b>Autores</b>
<i>Protocolo 1: Definição clara do escopo e dos objetivos do projeto</i>	Reunião com as partes interessadas para definir o escopo e os objetivos do projeto	
	Desenvolvimento de um documento de escopo e objetivos do projeto	
	Revisão e aprovação do documento de escopo e objetivos do projeto pelas partes interessadas	
	Publicação do documento de escopo e objetivos do projeto	
	Monitoramento e atualização do documento de escopo e objetivos do projeto	
<i>Protocolo 2: Identificação das partes interessadas e seus requisitos</i>	Reunião com as partes interessadas para identificar seus requisitos	
	Desenvolvimento de um documento de requisitos das partes interessadas	
	Revisão e aprovação do documento de requisitos das partes interessadas pelas partes interessadas	
	Publicação do documento de requisitos das partes interessadas	
	Monitoramento e atualização do documento de requisitos das partes interessadas	Cronholm e Göbel, (2022)
<i>Protocolo 3: Desenvolvimento de um plano de projeto detalhado</i>	Reunião com as partes interessadas para definir o cronograma, o orçamento e as tarefas do projeto	Stage-gate international (2021)
	Desenvolvimento do plano de projeto	Qin e Van Der Rhee, (2021)
	Revisão e aprovação do plano de projeto pelas partes interessadas	Cooper et al. (2017)
	Publicação do plano de projeto	Cooper e Sumer (2016)
	Monitoramento e atualização do plano de projeto	Cooper (1993, 2000, 2008, 2014) Rosenfeld et al., (2006)
<i>Protocolo 4: Comunicação regular com as partes interessadas</i>	Reunião semanal com as partes interessadas para discutir o progresso do projeto	
	Envio de relatórios de status do projeto às partes interessadas	
	Acompanhamento dos comentários e feedbacks das partes interessadas	
	Resolução de quaisquer problemas ou preocupações das partes interessadas	
	Envio de convites para reuniões e eventos relevantes às partes interessadas	
<i>Protocolo 5: Gestão de riscos eficaz</i>	Identificação de riscos potenciais para o projeto	
	Avaliação da probabilidade e do impacto dos riscos potenciais	

<i>Protocolo 6: Testes abrangentes do produto ou serviço</i>	Desenvolvimento de planos de mitigação para os riscos potenciais
	Monitoramento e atualização dos planos de mitigação
	Implementação dos planos de mitigação
	Desenvolvimento de um plano de testes
	Execução do plano de testes
	Análise dos resultados dos testes
<i>Protocolo 7: Lançamento bem-sucedido do produto ou serviço</i>	Correção de quaisquer defeitos encontrados
	Repetição do ciclo de testes até que o produto ou serviço esteja livre de defeitos
	Desenvolvimento de um plano de lançamento
	Execução do plano de lançamento
	Monitoramento do desempenho do produto ou serviço após o lançamento
	Realização de ajustes no plano de lançamento, conforme necessário
<i>Protocolo 8: Acompanhamento e avaliação do sucesso do produto ou serviço</i>	Comemoração do sucesso do lançamento!
	Coleta de dados de desempenho do produto ou serviço
	Análise dos dados de desempenho
	Identificação de áreas de melhoria
	Desenvolvimento de um plano de ação para melhoria
	Implementação do plano de ação para melhoria
<i>Protocolo 9: Adaptação do produto ou serviço com base nos feedbacks dos clientes</i>	Coleta de feedbacks dos clientes
	Análise dos feedbacks dos clientes
	Identificação de oportunidades de melhoria
	Desenvolvimento de um plano de ação para melhoria
	Implementação do plano de ação para melhoria
	<i>Protocolo 10: Conclusão bem-sucedida do projeto</i>
Transferência do produto ou serviço para o ambiente de produção	
Documentação do projeto	
Reunião de encerramento do projeto com as partes interessadas	
Celebração da conclusão bem-sucedida do projeto!	

Fonte: elaborado pelo autor (2023)



Segundo Rosenfeld *et al.*, (2006) processo de desenvolvimento de produto é uma etapa fundamental para garantir a criação de um produto eficaz e que atenda às necessidades dos clientes. Esse processo é dividido em 10 protocolos, cada um com suas próprias atividades específicas. Essas atividades são realizadas por uma equipe multidisciplinar, que inclui gerentes de projeto, líderes de produto, engenheiros, designers e profissionais de marketing.

Cada atividade desempenha um papel crucial no desenvolvimento do produto. Desde a pesquisa e definição de requisitos até a concepção, prototipagem, testes e lançamento, todas as etapas são importantes para garantir que o produto seja desenvolvido de forma eficaz. A colaboração e a comunicação eficiente entre os membros da equipe são essenciais para o sucesso do projeto (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021) .

No entanto, o processo de desenvolvimento de produto pode apresentar desafios. Ele pode ser complexo e demorado, exigindo um planejamento minucioso e uma alocação adequada de recursos. É fundamental garantir que todas as atividades sejam realizadas de forma eficiente e eficaz, evitando atrasos e desperdícios (COOPER, 2008).

Outro desafio é o monitoramento do progresso do projeto. É importante acompanhar de perto cada etapa do processo, identificar possíveis problemas e realizar ajustes conforme necessário. A flexibilidade e a capacidade de adaptação são fundamentais para lidar com mudanças ou imprevistos ao longo do caminho.

#### **4.22.4 Integração dos protocolos de controle com método *Stage-gate Xpress***

O *Stage-gate Xpress* é uma versão simplificada do processo *Stage-gate* tradicional ou *full*, projetado para projetos menores ou equipes com recursos limitados. Ele combina os elementos essenciais do modelo Stage-Gate original com princípios ágeis de gerenciamento de projetos, permitindo que as organizações gerenciem projetos de forma mais eficiente e eficaz (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

A metodologia *Stage-gate Xpress* consiste em cinco etapas:

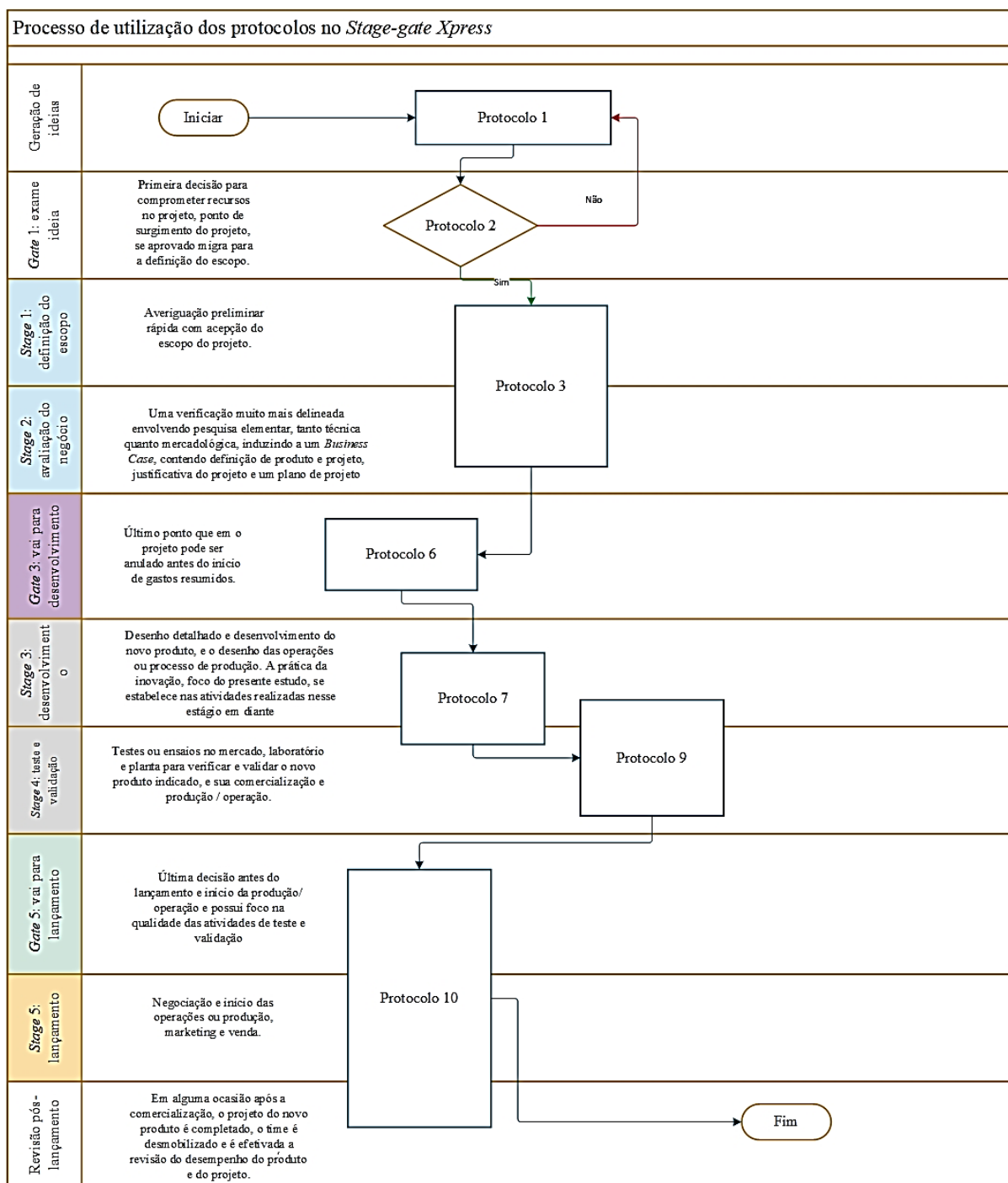
1. Definição do Projeto: Esta etapa envolve a definição do escopo, objetivos e entregas do projeto, bem como o estabelecimento de uma equipe de projeto e a criação de canais de comunicação.
2. Avaliação Rápida: Nesta fase, a equipe do projeto conduz uma avaliação rápida da viabilidade, risco e valor potencial do projeto. Isto ajuda a determinar se o projeto deve prosseguir para a próxima fase ou ser encerrado antecipadamente.

3. Planejamento Ágil: A equipe do projeto cria um plano de projeto de alto nível, descrevendo as metas, os marcos e os principais resultados do projeto. Este plano é flexível e pode ser ajustado conforme necessário ao longo do projeto.
4. Execução: Esta etapa envolve a implementação do plano do projeto e a entrega dos objetivos do projeto. A equipe do projeto trabalha de forma colaborativa para concluir tarefas e cumprir marcos, usando técnicas ágeis de gerenciamento de projetos, como reuniões diárias, planejamento de sprint e revisões regulares de progresso.
5. Revisão e Encerramento: Uma vez concluído o projeto, a equipe do projeto realiza uma revisão dos sucessos e desafios do projeto, identificando quaisquer lições aprendidas e áreas para melhoria. A equipe então encerra o projeto, documentando os resultados e resultados.

Ao longo de todo o processo, o *Stage-gate Xpress* enfatiza a colaboração, a comunicação e a melhoria contínua, permitindo que as organizações entreguem projetos de alta qualidade de forma mais eficiente e eficaz (COOPER; SUMER, 2016).

O *Stage-gate Xpress* é um método de gerenciamento de projetos que acelera o desenvolvimento de novos produtos e serviços. Os protocolos de controle são ferramentas e procedimentos que ajudam a garantir a qualidade e conformidade de um produto ou serviço. A integração de protocolos de controle com o *Stage-Gate Xpress* pode ajudar a melhorar a qualidade, segurança e confiabilidade dos produtos e serviços desenvolvidos. Isso pode ser feito definindo requisitos de controle para cada etapa do processo, implementando procedimentos de controle e monitorando o desempenho (COOPER, 2008).

A integração de protocolos de controle com o *Stage-gate Xpress* pode levar a uma redução de custos, aumento da satisfação do cliente e melhoria da segurança. A utilização de protocolos de controle no processo de desenvolvimento de produtos tem mostrado uma abordagem eficaz e vantajosa em comparação ao método *Stage-gate Xpress*. Esses protocolos oferecem uma estrutura mais organizada e controlada para o gerenciamento do processo de desenvolvimento, trazendo diversos benefícios tanto para as empresas quanto para os produtos em si. A Figura 53 mostra o mapeamento de processo do método *Stage-gate Xpress* com a utilização dos protocolos.

Figura 53 – Método *Stage-gate Xpress* com a utilização dos protocolos

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Um dos principais benefícios dos protocolos de controle é a redução de riscos e incertezas durante o processo de desenvolvimento. Com etapas claramente definidas e atividades específicas em cada protocolo, é possível identificar e mitigar problemas potenciais de forma mais eficiente, evitando atrasos e retrabalhos. Isso resulta em uma maior previsibilidade e confiabilidade do processo, permitindo que as empresas tomem decisões mais embasadas e estratégicas.

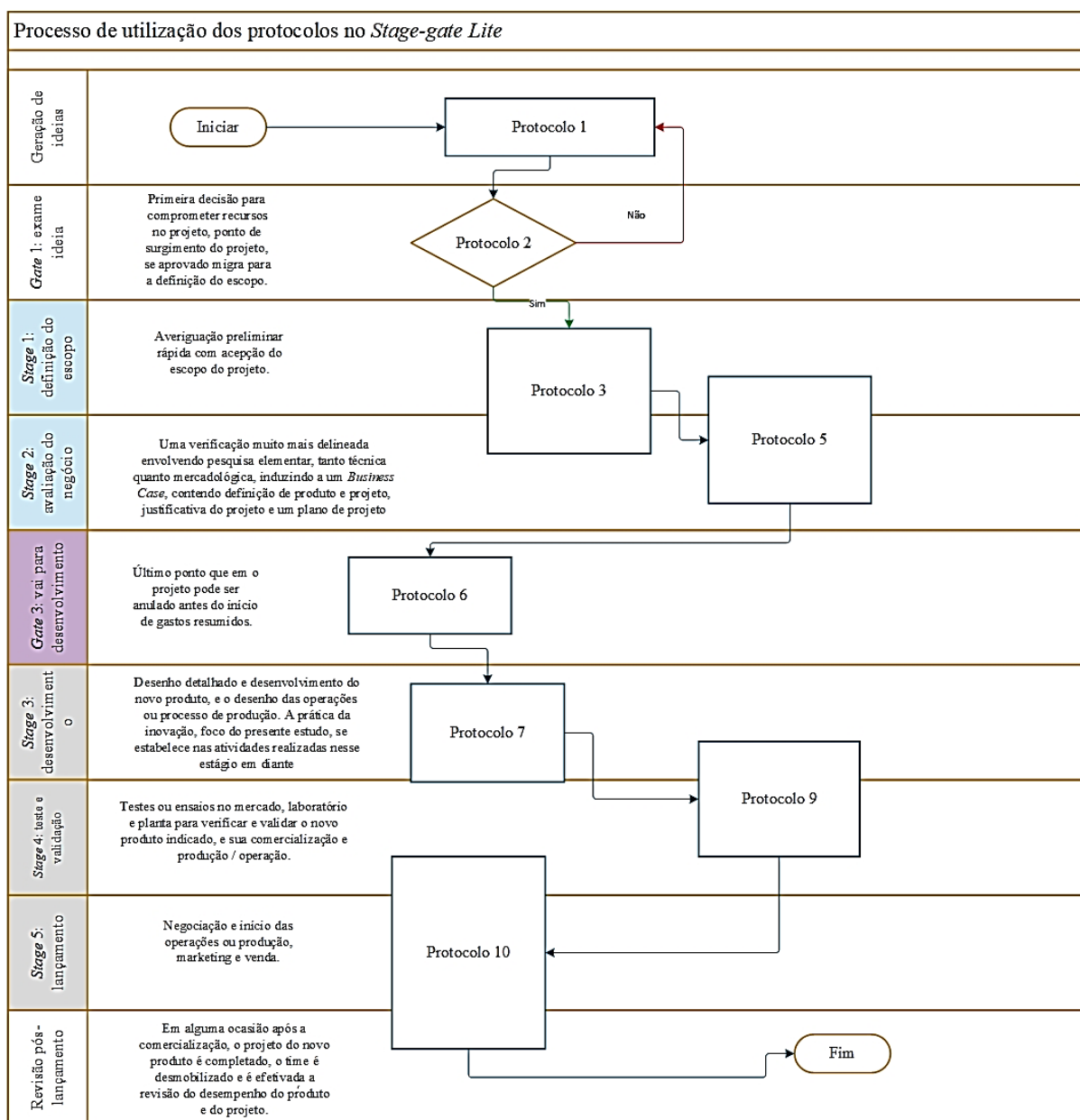
#### 4.22.5 Integração dos protocolos de controle com método *Stage-gate Lite*

O *Stage-gate Lite* é uma versão simplificada do processo *Stage-gate*, projetada para projetos de pequeno e médio porte ou equipes com recursos limitados. Ele combina os elementos essenciais do modelo *Stage-Gate* original com princípios de gerenciamento de projetos enxutos, permitindo que as organizações gerenciem projetos de forma mais eficiente e eficaz (COOPER e SUMER, 2016).

A metodologia *Stage-gate Lite* consiste em quatro etapas:

1. **Definição do Projeto:** Esta etapa envolve a definição do escopo, objetivos e entregas do projeto, bem como o estabelecimento de uma equipe de projeto e a criação de canais de comunicação.
2. **Avaliação Rápida:** Nesta fase, a equipe do projeto conduz uma avaliação rápida da viabilidade, risco e valor potencial do projeto. Isto ajuda a determinar se o projeto deve prosseguir para a próxima fase ou ser encerrado antecipadamente.
3. **Planejamento Ágil:** A equipe do projeto cria um plano de projeto de alto nível, descrevendo as metas, os marcos e os principais resultados do projeto. Este plano é flexível e pode ser ajustado conforme necessário ao longo do projeto.
4. **Execução:** Esta etapa envolve a implementação do plano do projeto e a entrega dos objetivos do projeto. A equipe do projeto trabalha de forma colaborativa para concluir tarefas e cumprir marcos, usando técnicas enxutas de gerenciamento de projetos, como mapeamento do fluxo de valor, melhoria de processos e revisões regulares do progresso.

Ao longo de todo o processo, o *Stage-gate Lite* enfatiza a colaboração, a comunicação e a melhoria contínua, permitindo que as organizações entreguem projetos de alta qualidade de forma mais eficiente e eficaz. A utilização de protocolos de controle apresenta diversos benefícios em relação ao método *Stage-gate Lite*. Esses protocolos, baseados em abordagens científicas, oferecem uma estrutura sólida e eficiente para o gerenciamento de projetos e processos. A Figura 54 mostra o mapeamento de processo do método *Stage-gate Lite* com a utilização dos protocolos.

Figura 54 – Método *Stage-gate Lite* com utilização dos protocolos

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Os benefícios dos protocolos de controle é a capacidade de fornecer uma visão clara e estruturada do progresso do projeto. Eles estabelecem etapas e marcos específicos que permitem acompanhar de forma precisa o avanço das atividades, identificar possíveis desvios e tomar medidas corretivas adequadas. Essa abordagem científica fornece maior controle sobre o projeto, aumentando as chances de sucesso e reduzindo os riscos associados.

#### 4.22.6 Forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da integração dos protocolos de controle ao método *Stage-gate*

A análise SWOT é uma ferramenta de planejamento estratégico que auxilia pessoas ou organizações a identificar forças, fraquezas, oportunidades e ameaças relacionadas à concorrência em negócios ou planejamento de projetos (QUINAZ, 2022). Para verificar a integração baseada na matriz SWOT.

Na análise SWOT, são identificadas as seguintes forças: consistência e padronização, melhor tomada de decisões e gestão de riscos, comunicação e colaboração aprimoradas, e melhoria e aprendizagem contínua. Essas forças são benéficas para o sucesso de um projeto, pois garantem consistência, qualidade nas decisões, maior eficiência na comunicação e aprendizado constante.

Por outro lado, também são identificadas algumas fraquezas, como a inflexibilidade dos protocolos, a demora na implementação, a resistência à mudança e a limitação da criatividade. Essas limitações dificultam a adaptação às mudanças, atrasam os projetos, podem causar dificuldades na implementação dos protocolos e limitar a inovação.

No contexto das oportunidades, é possível desenvolver protocolos flexíveis, simplificar a implementação, promover a adesão dos membros da equipe e promover a criatividade. Essas oportunidades permitem que as organizações aproveitem os benefícios dos protocolos sem enfrentar as mencionadas acima.

Existem também ameaças a serem consideradas. A incapacidade de adaptação dos protocolos pode dificultar a gestão de projetos com requisitos únicos ou situações mutáveis. Uma implementação ineficiente pode levar ao desperdício de tempo e recursos. A resistência persistente por parte dos membros da equipe pode comprometer a consistência e padronização na gestão de projetos. Além disso, a falta de estímulo à criatividade pode resultar em oportunidades perdidas de melhorias e falta de inovação.

Análise SWOT permite uma avaliação abrangente do ambiente interno e externo de uma organização, identificando fatores positivos e negativos que podem impactar seu desempenho e suas estratégias. O Quadro 12 traz a análise SWOT de forma resumida.

Quadro 12 – Análise SWOT da integração dos protocolos de controle com método *Stage-gate*

<b>Forças</b>	<b>Fraquezas</b>
1. Consistência e Padronização	1. Inflexibilidade
2. Melhor tomada de decisões e gestão de riscos	2. Demorado
3. Comunicação e colaboração aprimoradas	3. Resistência à Mudança
4. Melhoria Contínua e Aprendizagem	4. Criatividade limitada
<b>Oportunidades</b>	<b>Ameaças</b>
1. Desenvolva protocolos flexíveis	1. Incapacidade de adaptação
2. Simplifique a implementação	2. Implementação ineficiente
3. Incentive a adesão	3. Resistência persistente
4. Promova a criatividade	4. Criatividade sufocada

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

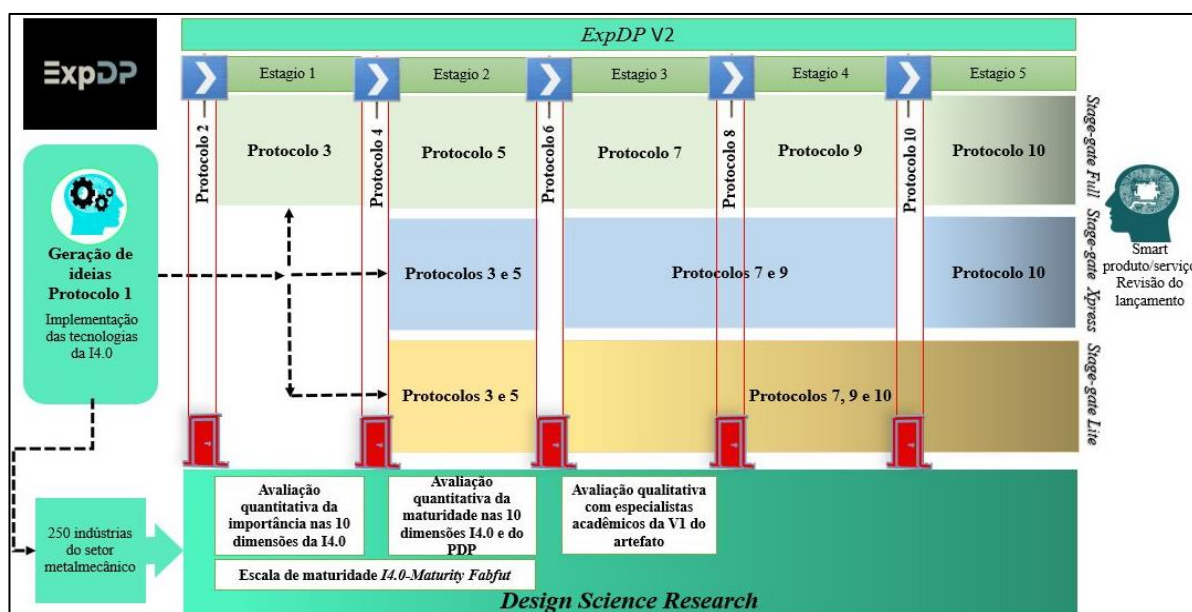
A análise SWOT é uma ferramenta valiosa que pode ser usada para uma variedade de propósitos. Ela é uma ferramenta simples e fácil de usar, mas que pode fornecer informações valiosas para a tomada de decisões estratégicas no campo e prático e científico (QUINAZ, 2022).

#### 4.23 PROPOSIÇÃO DO *EXPDP* ARTEFATO V2

Após avaliação qualitativa com os especialistas acadêmicos foram identificadas as categorias *a priori* avaliação acadêmica e melhorias do artefato V1, com as entrevistas transcritas e codificadas o artefato V1 precisou ser melhorado. Os resultados da avaliação qualitativa com os especialistas acadêmicos levou a um novo mapeamento do processo *Stage-gate* e a criação de 10 protocolos com 5 atividades para cada protocolo. Cada um dos protocolos são integrados com o método *Stage-gate* apoiados pela literatura (**Quadro 4**), pela análise quantitativa e pela análise SWOT.

A Figura 52 do artefato V1 mostra os elementos teóricos do modelo tradicional ou *full* do *Stage-gate* onde o artefato não era dinâmico se limitava a questão de desenvolvimento de produto mais robusto e rigoroso. Finalizada a fase de melhorias do artefato V1, foi identificado que o artefato V1 precisaria ser mais flexível e ágil, mais aderente a métodos ágeis de desenvolvimento de produto. Para esta integração foram incorporadas os modelos *Stage-gate Xpress* e *Stage-gate Lite*. A Figura 55 mostra artefato 2 *EXPDP*.

Figura 55 – Artefato 2 *EXPDP*



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

#### 4.23.1 Avaliação qualitativa pelas empresas referente ao artefato V2

Segundo Cooper (2000), o **estágio 4** método *Stage-Gate* é um ponto crítico no processo de desenvolvimento de produtos. Nesse estágio, ocorre uma avaliação detalhada do projeto para determinar se ele está pronto para avançar para a próxima fase, que geralmente é uma fase de desenvolvimento e teste. Nesta etapa, uma revisão abrangente do projeto é realizada para avaliar sua previsão, potencial de mercado e alinhamento com a estratégia geral do negócio. Essa etapa serve como um ponto de verificação para garantir que o projeto ainda seja viável e tenha potencial para alcançar os resultados desejados (COOPER, 2008).

A avaliação qualitativa do artefato V2 com empresas desempenha um papel fundamental no método DSR. Essa avaliação consiste em analisar e compreender a qualidade dos trabalhos V2 por meio da interação direta com as empresas interessadas. A importância dessa avaliação reside no fato de que ela permite obter informações valiosas sobre como o artefato V2 atende às necessidades das empresas e como podem ser aprimorados para melhor atendê-las. Ao envolver as empresas nesse processo, é possível coletar *feedbacks* relevantes, identificar pontos fortes e fracos dos *stakeholders* e entender como ele pode ser adaptado para se adequar às demandas específicas de cada organização (CRESWEL; CRESWELL, 2021; DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

A avaliação qualitativa do artefato V2 com empresas também contribui para a validação do método DSR como um todo. Ao demonstrar que os artistas V2 são capazes de gerar benefícios tangíveis e fornecer soluções eficazes para as empresas, fortalecem-se a alternância do método e sua aplicabilidade no contexto empresarial.

A empresa 1 atua no ramo metalmeccânico, mais especificamente na área de fabricação de ônibus. Dentro da empresa, o profissional entrevistado ocupa a função de Supervisor, desempenhando um papel importante na gestão e cooperativa das atividades relacionadas à produção de poltronas. Com uma experiência de 25 anos no mercado, o profissional possui uma formação abrangente, com um diploma de Tecnólogo em Automação Industrial, além de ser formado em Engenharia de Produção e possuir um MBA em Gestão Estratégica da Produção. O profissional é identificado como E4, um *stakeholder* relevante dentro da empresa.

A empresa 2 de tecnologia é uma empresa especializada em sistemas para engenharia, atuando no setor de tecnologia da informação. Dentro da organização, o profissional entrevistado desempenha a função de engenheiro de aplicação e suporte ao cliente, sendo responsável por auxiliar os clientes na utilização dos sistemas, bem como prestar suporte técnico. O profissional possui uma experiência de 15 anos como programador CAD/CAM, além



de ter atuado por 8 meses como Engenheiro de Aplicação. Sua área de atuação está voltada para projetos de implementação. A sua formação inclui um diploma de Técnico em Automação Industrial e graduação em Engenharia de Produção. O profissional é identificado como E5, um *stakeholder* importante para a empresa.

As entrevistas semiestruturadas com os *stakeholders* E4 e E5 foram conduzidas com rigor, seguindo os princípios da pesquisa qualitativa. A abordagem utilizada permitiu uma compreensão mais aprofundada das percepções, experiências e conhecimentos dos entrevistados, fornecendo insights importantes para a pesquisa.

Antes de iniciar as entrevistas, foi realizado um planejamento cuidadoso para garantir que as questões abordassem os aspectos relevantes para a pesquisa. Foram considerados os objetivos da pesquisa, as áreas de atuação dos *stakeholders* e os temas relevantes para a compreensão de seus papéis e experiências dentro das empresas. Dessa forma, as perguntas foram elaboradas de maneira a estimular respostas ricas em detalhes e reflexões (GODOY, 2005).

Durante as entrevistas, houve um cuidado em estabelecer um ambiente propício para que os entrevistados se sentissem à vontade para compartilhar suas experiências e opiniões de maneira aberta e honesta. Foi garantida a confidencialidade das informações e respeitada a autonomia dos entrevistados em expressar suas ideias (CRESWELL; CRESWELL, 2021).

A condução das entrevistas segue uma estrutura básica, com perguntas iniciais para introduzir o tema e, em seguida, questões mais específicas para aprofundar a discussão. No entanto, foi permitido que os entrevistados abordassem temas adicionais ou explorassem assuntos relevantes que surgissem durante uma conversa, permitindo uma flexibilidade no diálogo e uma maior compreensão dos contextos individuais (MERRIAN, 1998).

Ao final das entrevistas, foi realizada uma análise cuidadosa das respostas, buscando identificar padrões, tendências e insights relevantes para a pesquisa. As informações coletadas foram tratadas com seriedade e rigor, garantindo a fidedignidade e validade dos dados obtidos seguindo o protocolo de avaliação qualitativa “**Apêndice G**” (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

De acordo com Bardin (2016), a análise de conteúdo consiste em examinar cuidadosamente o material textual coletado, seja ele entrevistas, documentos, artigos, entre outros. O objetivo é identificar e categorizar os principais temas, conceitos e ideias apresentados no conteúdo. Essa análise pode ser feita de forma manual ou com o auxílio de software especializado. A Tabela 26 apresenta o tempo de entrevista e quantidade de páginas transcritas.

Tabela 26 – Conteúdo gerado pelas entrevistas com as empresas

Código	Tempo de entrevista	Páginas transcritas
E4	35 minutos	12
E5	43 minutos	16
<b>Total de horas/páginas de entrevistas</b>	1h e 18 minutos	28 páginas

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

As categorias *a posteriori* são construídas a partir de temas, conceitos e padrões identificados nos dados encontrados. Os pesquisadores examinaram o material textual de forma minuciosa, buscando semelhanças, diferenças e relações entre as unidades de significado. Com base nessa análise, eles se agrupam em unidades em categorias que representam os principais temas ou tópicos abordados pelos participantes (BARDIN, 2016).

Uma das vantagens das categorias *a posteriori* é que elas permitem uma abordagem mais flexível e aberta à descoberta de novos insights. Ao não importar categorias pré-definidas, os pesquisadores têm a oportunidade de explorar e compreender os dados de maneira mais holística, levando em consideração as perspectivas e experiências dos participantes (MERRIAN, 1998). A Tabela 27 mostra os elementos chave do referencial teórico, metodologia de pesquisa e da avaliação acadêmica que contribui para a categoria *a posteriori*.

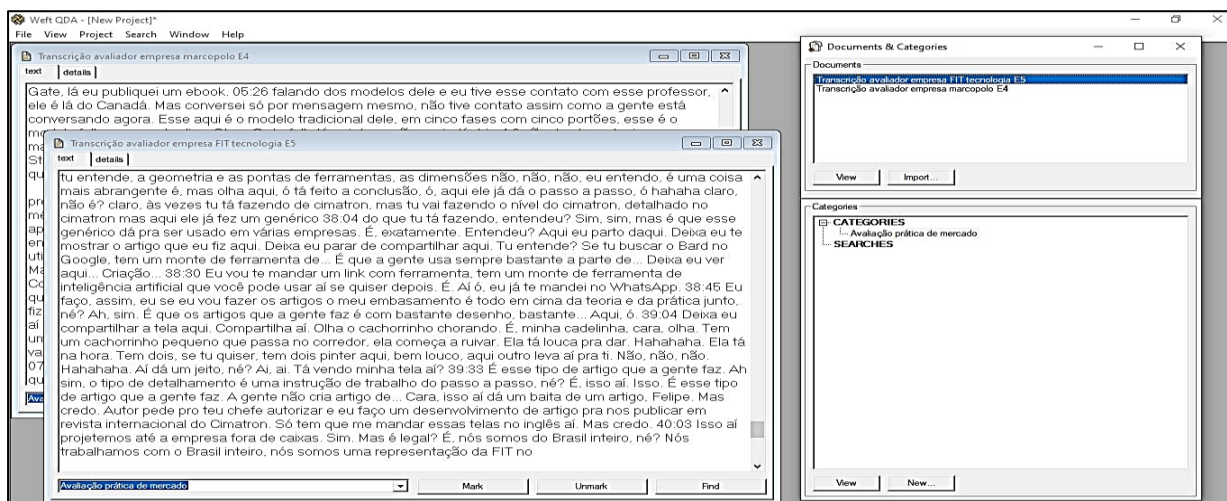
Tabela 27 – Categorias *a posteriori*

Abordagem teórica e avaliação acadêmica	Categoria <i>a posteriori</i>
Metódo <i>Stage-gate</i> , <i>Design Science Research</i> e as entrevistas com os especialistas acadêmicos	Avaliação prática de mercado

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A Figura 56 destaca a categoria empregada para análise no *software* Weft-QDA a partir das entrevistas como as empresas como especificado por com Bardin (2016).

Figura 56 – Processo de análise de conteúdo e codificação da categoria avaliação prática de mercado



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

A análise de categoria no contexto de métodos qualitativos envolve o exame sistemático e a interpretação dos dados para identificar e organizar temas ou padrões que emergem dos dados (BARDIN, 2016).

#### **4.23.2 Categoria avaliação prática de mercado**

A categoria de avaliação prática de mercado desempenha um papel crucial na fase de avaliação do DSR integrada com o método *Stage-gate*. Essa categoria visa analisar as opções comerciais e acessíveis do produto ou serviço proposto no mercado.

Durante a fase de avaliação do DSR, é essencial realizar uma avaliação prática de mercado para compreender como o produto ou serviço será recebido pelos consumidores e se há demanda para ele. Essa avaliação é feita por meio de pesquisas de mercado, análise da concorrência, estudos de opções e testes piloto (COOPER; SUMMER, 2016).

A avaliação prática de mercado permite que a equipe de desenvolvimento obtenha feedback direto dos clientes em potencial e do mercado em geral. Isso ajuda a identificar possíveis melhorias no produto ou serviço e até mesmo a necessidade de adaptação para atender às demandas específicas do mercado (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021).

Além do mais, a avaliação prática de mercado também contribui para a tomada de decisões durante o processo de desenvolvimento do DSR. Com base nos resultados dessa avaliação, o pesquisador pode decidir se o produto ou serviço deve ser continuado, ajustado ou até mesmo descontinuado.

A integração da avaliação prática de mercado com o método *Stage-gate* traz benefícios ao processo de desenvolvimento do DSR. De acordo com Cooper (2000), o método *Stage-gate* é um modelo estruturado que divide o processo em etapas e avaliações, permitindo uma avaliação sistemática do projeto em cada estágio. A categoria de avaliação prática de mercado é uma das etapas cruciais desse método, ajudando a garantir que o produto ou serviço seja desenvolvido de acordo com as demandas e necessidades do mercado (DRESCH; LACERDA; JÚNIOR., 2015).

A versão 2 do artefato é uma atualização que traz melhorias e novas funcionalidades em relação à versão anterior. Durante a demonstração, é importante destacar essas melhorias e mostrar como elas atendem às necessidades dos usuários e do mercado. Ao apresentar as funcionalidades do artefato V2, é necessário destacar como cada protocolo irá interagir com os métodos *Stage-gate*. Cada protocolo tem seu papel específico no processo de avaliação e

desenvolvimento, e é importante destacar como eles se encaixam nos diferentes estágios do *Stage-gate*.

No método *Stage-gate Full*, que é um modelo mais abrangente e detalhado, os protocolos irão interagir em cada estágio do processo. Eles fornecerão informações e avaliações que ajudarão a tomar decisões sobre a continuidade do projeto, ajustes necessários e possíveis melhorias. No *Stage-gate Xpress*, que é uma versão mais ágil do *Stage-gate*, os protocolos têm um papel mais rápido e conciso. Eles serão responsáveis por fornecer informações essenciais para a tomada de decisões rápidas e eficientes durante o processo de desenvolvimento.

Já no *Stage-gate Lite*, que é uma versão simplificada do modelo *Stage-gate*, os protocolos irão interagir de forma mais direta e simplificada. Eles serão responsáveis por fornecer informações básicas para a tomada de decisões sobre a continuidade do projeto. A interação dos 10 protocolos com os métodos stage-gate é fundamental para garantir uma avaliação completa e abrangente do artefato V2. Cada protocolo desenvolverá uma perspectiva única e contribuirá para a tomada de decisões informadas e embasadas. O Quadro 13 mostra as perguntas de avaliação qualitativa e as respostas das empresas.

Quadro 13 – Avaliação do artefato V2

Pergunta	Resposta
1. O artefato pode ser utilizado em um cenário real de desenvolvimento?	E4 – Sim.  E5 - Sim, exatamente. Já deveria ser utilizado. Só que as empresas utilizam o PDP no modo... sempre paliativo. Nunca, muitas vezes é mensurado ou muitas vezes definido o processo bem corretamente.
2. O artefato apresenta clareza na apresentação dos elementos sobre o EXPDP?	E4 – Sim. Eu usaria este modelo dentro de um site  E5 - Sim, com certeza. Apresenta bem completo
3. O artefato articula de forma satisfatória o caráter teórico e prático de pesquisa?	E4 – Sim.  E5 - Sim, apresentou assim, apresentou passo a passo, detalhado, até o que usa em cada protocolo, digamos, do mais completo, o médio e o ágil que você mostrou.
4. O artefato pode contribuir para evidenciar o rigor, relevância e contribuição para pesquisa acadêmica e a prática do mercado?	E4 – Sim. Sempre a maior dificuldade é o cara organizar o negócio. Tem um método de como iniciar, você tem regramento, que é o que está propondo, acho que é bem interessante.  E5 - Ah, com certeza. Quando você tem uma aplicação dentro de uma empresa, você consegue mensurar isso.
5. O artefato pode contribuir para evidenciar o rigor, relevância e contribuição para o	E4 – Claro. Você ter realmente um formato de desenvolvimento. Não é só alguma coisa com uma

desenvolvimento de um produto/serviço?	sequência. Acho que isso vai ajudar bastante...  E5 - Sim, pelo que você me mostrou.
--	--

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Os pontos relevantes sobre os artefato V2 destacam a sua capacidade de ser utilizado em um cenário real de desenvolvimento, o que sugere que possui aplicabilidade prática. Além disso, há uma menção de que as empresas geralmente utilizam o processo de desenvolvimento de produtos PDP de forma paliativa, sem mensuração adequada ou definição correta do processo. Isso indica que os artefatos V2 podem trazer uma abordagem mais estruturada e eficiente para o desenvolvimento de produtos.

A supervisão do caráter teórico e prático da pesquisa é outro ponto destacado. Ambos os participantes mencionam que os artefatos apresentam passo a passo e detalhadamente os protocolos utilizados, inclusive mencionando diferentes abordagens, como o mais completo, o médio e o ágil. Isso sugere que o arquiteto consiga integrar aspectos teóricos e práticos de pesquisa de forma consistente.

Quanto à contribuição para pesquisa acadêmica e prática de mercado, ambos os participantes concordam que o artefato V2 pode evidenciar o rigor, a relevância e a contribuição para essas áreas. Eles mencionam que o método proposto pelo artefato pode ajudar na organização do negócio e na mensuração do impacto em uma aplicação dentro de uma empresa.

#### 4.24 ANÁLISE GERAL DAS AVALIAÇÕES QUALITATIVAS

Na análise de convergência do Artefato *EXPDP* mostra que os participantes concordam que esses artefatos podem ser utilizados em um cenário real de desenvolvimento. Eles destacam que o *EXPDP* possui uma base sólida de pesquisas quantitativas, teoria e validação, o que o torna aplicável na prática. Os participantes afirmam que o artefato apresenta claramente os elementos sobre o *EXPDP*. Eles mencionam que o artefato fornece informações completas e bem explicadas, facilitando o entendimento e a implementação do processo. Os participantes também concordam que os artistas se articulam de forma a garantir o caráter teórico e prático de pesquisa. Eles destacam que o artefato apresenta integração de maneira consistente com os aspectos teóricos e práticos, fornecendo protocolos detalhados e passo a passo para a implementação do processo.

Quanto à contribuição para a pesquisa acadêmica e a prática de mercado, os participantes concordam que os artistas evidenciam o rigor, a relevância e a contribuição para



55 menções. As entrevistas foram finalizadas por meio de saturação teórica dos dados qualitativos.

Durante o processo de coleta de dados qualitativos por meio de entrevistas, é comum que os pesquisadores busquem obter uma compreensão aprofundada do conhecimento em estudo. Essa compreensão é obtida por meio da análise e interpretação dos dados encontrados nas entrevistas.

A saturação dos dados ocorre quando não surgem mais informações ou temas significativos, mesmo após realizar várias entrevistas. Nesse ponto, o pesquisador percebeu que coletaram informações suficientes para responder às suas perguntas de pesquisa e alcançar uma compreensão abrangente das questões específicas (YIN, 2015).

A saturação teórica dos dados qualitativos é importante porque indica que o ponto de redundância foi contínuo (YIN, 2015). Isso significa que os dados coletados já abrangem uma variedade de perspectivas, experiências e informações relevantes sobre o tema em estudo. A partir desse ponto, coletar mais dados não acrescentaria valor significativo à pesquisa.

#### 4.25 PROPOSIÇÃO DO *EXPDP* ARTEFATO V3 FINAL

A Fase Final de Desenvolvimento e Avaliação do processo *Design Science Research* (DSR) é uma etapa decisiva para que os projetos desenvolvidos sejam refinados e avaliados para garantir sua eficácia e adequação aos requisitos estabelecidos. Nessa fase, o foco principal é validar e obter feedback dos stakeholders e especialistas acadêmicos para realizar melhorias finais antes de sua implementação.

No contexto específico mencionado, o artefato V3 final é o projeto desenvolvido como parte do processo DSR. Para entender melhor essa fase, é importante conhecer os principais passos que foram envolvidos:

- a. Refinamento do Artefato: Nesta etapa, o artefato é refinado com base no feedback recebido durante as fases anteriores do processo DSR. Isso pode envolver ajustes no design, funcionalidades ou outras características dos artefatos para garantir sua efetividade.
- b. Avaliação do Artefato: O artefato é submetido a uma avaliação rigorosa para verificar se o atendimento aos requisitos estabelecidos e se é capaz de resolver o problema ou atingir os objetivos propostos. Isso pode envolver testes, simulações, experimentos ou outras técnicas de avaliação.

- c. Coleta de Feedback: Durante a avaliação foi importante coletar feedback dos usuários e especialistas envolvidos. Isso pode ser feito por meio de questionários, entrevistas, observações ou outras técnicas de coleta de dados. O feedback é relevante para identificar pontos fortes e áreas de melhoria dos objetos.
- d. Melhorias Finais: Com base no feedback coletado, são realizadas melhorias preliminares no projeto. Isso pode envolver configurações no design, correção de erros, otimização de desempenho ou outras modificações para melhorar a qualidade e usabilidade do artefato.
- e. Documentação Final: Ao final da fase, é importante documentar todas as etapas realizadas, resultados obtidos, feedback recebido e melhorias inovadoras. Essa documentação é essencial para comunicar os resultados do processo DSR e fornecer informações relevantes para futuros estudos ou implementações.

O processo DSR é iterativo e cíclico, o que significa que as fases podem se repetir até que os artistas atinjam um nível de eficácia e adequação. A Fase Final de Desenvolvimento e Avaliação é fundamental para garantir que o Artefato V3 final esteja pronto para ser implementado e utilizado de forma eficaz.

**Portão 5** no método *Stage-Gate*, ocorre a revisão final do projeto para garantir que todas as atividades tenham sido concluídas com sucesso. São avaliados critérios como plano de marketing, conformidade com regulamentações, custos, capacidade de produção, entre outros. O Portão 5 marca o momento em que o produto é lançado no mercado e as atividades de comercialização e implementação são iniciadas. É importante garantir que o produto atenda às expectativas dos clientes e que a empresa esteja preparada para aproveitar as oportunidades de mercado (COOPER e SUMER, 2016).

O **Estágio 5**, são avaliados diversos critérios para garantir que o produto esteja em conformidade com os requisitos técnicos, financeiros, estratégicos e de qualidade estabelecidos. Além disso, é realizada uma análise do plano de marketing, verificando se todas as ações possíveis para a comercialização do produto foram planejadas.

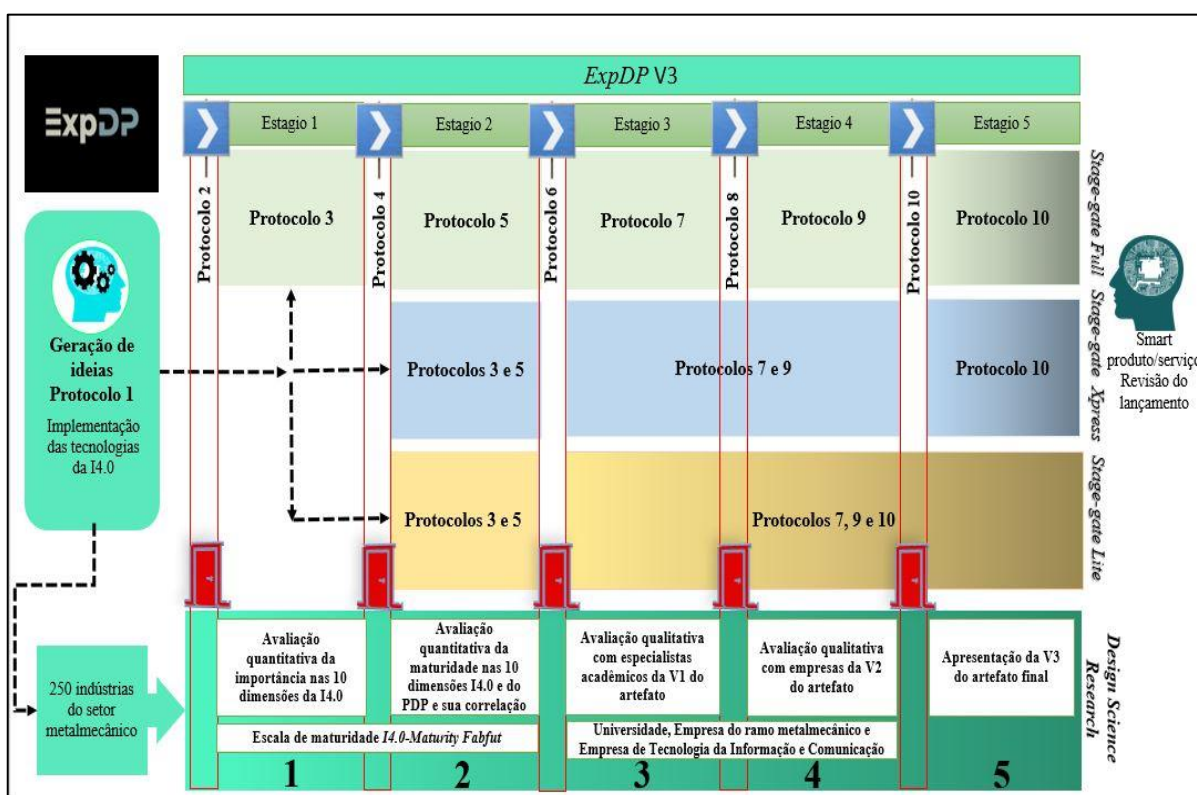
Uma das principais finalidades do Estágio 5 é garantir que o produto atenda às expectativas dos clientes e que esteja alinhado com a estratégia global da empresa. Também é importante avaliar se o produto está em conformidade com as regulamentações e normas aplicáveis, garantindo sua qualidade e segurança.

Uma vez que o produto seja aprovado no Estágio 5, a equipe pode exigir a implementação do plano de lançamento, incluindo a produção em escala, a distribuição e o



início das atividades de marketing. É fundamental monitorar o desempenho do produto após o lançamento e realizar os ajustes, se necessário, para garantir seu sucesso no mercado (STAGE-GATE INTERNATIONAL, 2021). O método *Stage-gate* foi aplicado para garantir que o artefato *EXPDP* cumprisse todos os requisitos antes de avançar para a fase de lançamento. Cada etapa do processo foi cuidadosamente revisada e aprovada, garantindo que o artefato estivesse pronto para ser lançado. A fase de comunicação do processo *Design Science Research* e a fase de lançamento do método *Stage-gate* representam o cumprimento do desenvolvimento e avaliação do artefato *EXPDP V3*. A Figura 58 mostra o artefato 3 final *EXPDP*.

Figura 58 – *EXPDP V3* final



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

## 5 COMUNICAÇÃO

Irá ser realizada através da publicação do trabalho em periódicos, em congressos, seminários etc. com o intuito de difundir os resultados obtidos e cooperar para o avanço do conhecimento (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Nesta pesquisa, a comunicação dos resultados ocorreu através da conclusão do projeto de tese de doutorado e da provável publicação de artigos, descritos como probabilidades de trabalhos futuros no item das conclusões apresentado no Quadro 4.

Por fim, Lacerda *et al.*, (2013) sugere que a atividade de comunicação permite que o pesquisador informe tanto o problema que foi estudado como, ainda, sua importância. Ademais, é nessa fase que necessitará ser apresentado o rigor com o qual a pesquisa foi administrada, bem como o quão eficaz foi a solução encontrada para o problema. Os autores sugerem que os pesquisadores façam uso da estrutura de artigos normalmente utilizados pelo meio acadêmico.

O desenvolvimento de um site pode desempenhar um papel importante no processo de comunicação da *Design Science Research*, especialmente quando se trata da apresentação e divulgação dos artefatos *EXPDP*. O site é uma ferramenta eficaz para compartilhar os resultados da pesquisa, metodologias utilizadas, contribuições para a comunidade acadêmica e científica, e outras informações relevantes relacionadas aos artefatos *EXPDP*.

Ao desenvolver o site, é essencial considerar a usabilidade e a acessibilidade. O design deve ser intuitivo, facilitando a navegação dos usuários e tornando a experiência deles agradável. O conteúdo deve ser organizado de forma clara e concisa, permitindo que os visitantes encontrem facilmente as informações desejadas.

Através do site, o pesquisador pode alcançar um público mais amplo, incluindo outros colegas de pesquisa, acadêmicos, profissionais da área e até mesmo o público em geral interessado no tema. Isso permite que o conhecimento gerado pela pesquisa seja divulgado de forma eficiente e possa ser utilizado por outras pessoas interessadas na área. Dentro do site encontrasse as seguintes informações:

- a. Método *Stage-gate*;
- b. Indústria 4.0;
- c. Mapeamento de processos de utilização do método *EXPDP*;
- d. Ebook Modelos de Desenvolvimento de Produto e Aplicações Gerenciais;
- e. Ebook Tecnologias Habilitadoras da Transformação Digital 4.0;
- f. Vídeo de utilização do método *EXPDP*
- g. Modelo *EXPDP*.

No site *EXPDP*, os usuários podem encontrar uma variedade de recursos, como artigos, vídeos, *e-books* e modelos relacionados ao desenvolvimento de produtos. Esses recursos são projetados para ajudar profissionais e pesquisadores a aprimorar seus conhecimentos e habilidades no campo de desenvolvimento de produtos. A Figura 59 mostra a estrutura do site *EXPDP*.

Figura 59 - Site *EXPDP*

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

O site pode ser acessado pelo link: <https://EXPDP.webnode.page/>.

## 5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Visando o problema de aplicação o desenvolvimento de um produto ou serviço que integrasse as tecnologias habilitadoras da I4.0 por meio da abordagem *Stage-gate*, a presente pesquisa sugeriu que se integrasse 10 protocolos de atividades no método *Stage-gate*. Para comprovar esta integração foi proposto um objetivo geral, desenvolver um modelo de produto/serviço *Smart* aplicando o método *Stage-gate*.

Para realização da deste objetivo geral, foram definidos objetivos específicos para cada etapa da pesquisa. A bibliometria é uma técnica que utiliza métodos quantitativos para analisar a produção científica em determinada área. Ela permite identificar tendências, padrões e lacunas de pesquisa com base na análise de artigos científicos, citações, autores e periódicos. Ao aplicar a bibliometria, é possível mapear o estado atual do conhecimento em determinado tema e identificar áreas que ainda não foram exploradas ou que necessitam de mais estudos.

Por outro lado, a revisão sistemática integrativa de literatura é uma abordagem que busca reunir e sintetizar evidências de estudos primários relevantes para responder a uma pergunta de pesquisa específica. Ela envolve a busca sistemática e criteriosa de artigos científicos, a seleção dos estudos mais relevantes, a avaliação da qualidade metodológica desses estudos e a síntese dos resultados. A revisão sistemática integrativa permite identificar as lacunas existentes na literatura, destacando as áreas em que há falta de evidências ou onde os estudos são inconsistentes ou contraditórios.

Ao combinar a bibliometria com a revisão sistemática integrativa de literatura, é possível obter uma visão abrangente do estado atual do conhecimento em determinada área e identificar as lacunas de pesquisa que ainda precisam ser preenchidas. A bibliometria fornece uma visão geral das publicações existentes, enquanto a revisão sistemática integrativa permite uma análise mais aprofundada dos estudos relevantes.

O contato com estas biografias e pesquisa durante a revisão sistemática também proporcionou ao pesquisador a identificação da possibilidade de integrar tecnologias habilitadoras da I4.0 ao método *Stage-gate*. A avaliação da importância da Indústria 4.0 pode ser avaliada em diferentes aspectos. Primeiramente, ela oferece oportunidades de melhoria significativas para as empresas, permitindo a otimização dos processos produtivos, redução de custos, aumento da produtividade e maior flexibilidade na produção. Ainda, a Indústria 4.0 possibilita a criação de produtos/serviços mais Personalizados e adaptados às necessidades dos clientes, o que pode resultar em maior satisfação e fidelização.

A medição da utilização e avaliação da maturidade da Indústria 4.0 no setor metalmeccânico pode envolver a análise de diferentes aspectos, como a integração de sistemas e processos, a digitalização da produção, o uso de tecnologias avançadas, a capacidade de coleta e análise de dados em tempo real, entre outros. Essa avaliação permite identificar o estágio atual de adoção da Indústria 4.0 no setor metalmeccânico, bem como identificar lacunas e oportunidade de melhoria.

É importante considerar os desafios específicos enfrentados pelo setor metalmeccânico na adoção da Indústria 4.0, como a modernização de equipamentos e processos, a capacitação dos colaboradores, a segurança cibernética e a integração com a cadeia de suprimentos. A medição da maturidade da Indústria 4.0 no setor metalmeccânico pode ajudar a identificar esses desafios e orientar ações e investimentos para superá-los.

Na tese o pesquisador fez avaliação do processo de desenvolvimento de produto foi etapa fundamental para garantir a qualidade, eficiência e sucesso do produto. Essa avaliação envolveu a análise de diferentes aspectos ao longo do processo de desenvolvimento, desde a concepção até a produção e lançamento do produto. Uma das etapas importantes na avaliação do processo de desenvolvimento de produto é a análise de viabilidade. Nessa etapa, avalia-se a estratégia do produto com base na sua viabilidade técnica, econômica e comercial. Isso envolve a análise de aspectos como a capacidade de produção, custos envolvidos, demanda de mercado e concorrência.

Durante o processo de desenvolvimento, é comum a realização de prototipagem e avaliação iterativa. Isso envolve a produção de protótipos do produto e a realização de testes e

avaliações para garantir que ele atinja os padrões de qualidade exigidos. Essa avaliação pode envolver aspectos como funcionalidade, usabilidade, ergonomia e experiência do usuário.

A partir do conhecimento adquirido ao longo dessa sequência de etapas, foi possível conceber e desenvolver os artefatos inicialmente propostos. Os artefatos foram projetados com características digitais, de fácil acessibilidade e usabilidade; apresentando uma estrutura sólida e abrangente em termos de conteúdo; além de possibilitarem seu uso tanto comercialmente quanto academicamente, como uma metodologia e ferramenta de apoio ao processo criativo de desenvolvimento de produtos.

A ferramenta proposta estimula e facilita a aplicação dos princípios de solução presentes no método *Stage-gate* na concepção de novos produtos/serviços, reduzindo o esforço do projetista em assimilar e "traduzir" as soluções de PDP para os sistemas técnicos. Por meio do processo de decomposição funcional e da analogia com o *Stage-gate*, esse método busca exercitar a abstração, minimizando possíveis barreiras à criatividade, como hábitos arraigados, fixação funcional e uma mentalidade excessivamente prática. Dessa forma, aumenta-se significativamente a probabilidade de gerar soluções alternativas, criativas e inovadoras.

Os resultados obtidos com a elaboração dos artefatos demonstram que o objetivo principal foi alcançado, pois, de acordo com a avaliação realizada, a maioria dos requisitos foi cumprida, logo os artefatos atendem às demandas levantadas. Entretanto, os quesitos que não foram atendidos de forma satisfatória, não prejudicam a qualidade do uso da ferramenta, sendo passíveis de aprimoramentos, adaptações e variações a serem propostos em trabalhos futuros.

## 5.2 CONTRIBUIÇÕES ACADÊMICAS E GERENCIAIS

O método *Stage-Gate* é um método de desenvolvimento de produtos e serviços que é dividido em fases, cada uma com seus próprios objetivos e atividades. O *Design Science Research* é um método de pesquisa que visa desenvolver novos artefatos, tais como modelos, métodos e ferramentas.

A integração do método *Stage-Gate* com o DSR pode trazer as seguintes contribuições:

1. **Melhoria da eficiência e eficácia do processo de desenvolvimento de produtos e serviços:** O método *Stage-Gate* fornece uma estrutura para o desenvolvimento de produtos e serviços, enquanto o DSR fornece uma abordagem sistemática para o desenvolvimento de novos artefatos. A integração dos dois métodos pode ajudar a melhorar a eficiência e eficácia do

processo de desenvolvimento, garantindo que os artefatos desenvolvidos sejam adequados para as necessidades do projeto.

2. **Desenvolvimento de artefatos inovadores:** O DSR é um método que visa o desenvolvimento de novos artefatos. A integração do DSR com o método *Stage-Gate* pode ajudar a desenvolver artefatos inovadores que sejam adequados para as necessidades do projeto.
3. **Validação dos artefatos desenvolvidos:** O método *Stage-Gate* inclui uma fase de avaliação, na qual os artefatos desenvolvidos são testados e validados. A integração do DSR com o método *Stage-Gate* pode ajudar a validar os artefatos desenvolvidos, garantindo que eles sejam efetivos no contexto do projeto.

Aplicação:

- ✓ **Desenvolvimento de um novo produto:** O método *Stage-Gate* pode ser utilizado para dividir o desenvolvimento do produto em fases, como a fase de concepção, a fase de desenvolvimento e a fase de teste. O DSR pode ser utilizado para desenvolver novos artefatos, como um modelo de avaliação de viabilidade do produto ou uma ferramenta de simulação de desempenho do produto.
- ✓ **Desenvolvimento de um novo serviço:** O método *Stage-Gate* pode ser utilizado para dividir o desenvolvimento do serviço em fases, como a fase de análise de necessidades, a fase de design do serviço e a fase de implementação do serviço. O DSR pode ser utilizado para desenvolver novos artefatos, como um modelo de satisfação do cliente ou uma ferramenta de gerenciamento de relacionamento com o cliente.

O desenvolvimento da escala *I4.0-Maturity Fabfut* pode ser utilizada por gerentes, analistas, CEOs e indústrias para:

- ✓ Avaliar o nível de maturidade da Indústria 4.0 em suas organizações.
- ✓ Identificar áreas de melhoria.
- ✓ Desenvolver planos de ação para melhorar a maturidade da Indústria 4.0.

Para utilizar a escala, as empresas devem responder a um questionário que avalia o uso das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 em cada dimensão. As respostas são pontuadas de 0 a 5, com 0 representando um baixo nível de maturidade e 5 representando um alto nível de maturidade. O resultado da avaliação é uma pontuação geral para cada dimensão e para a escala como um todo.

A escala *I4.0 Maturity Fabfut* é uma ferramenta útil para empresas que desejam avaliar seu nível de maturidade da Indústria 4.0 e identificar oportunidades de melhoria. A escala é

baseada em um conjunto de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 que são consideradas essenciais para o sucesso das empresas na era digital.

A seguir, são apresentadas algumas dicas para gerentes, analistas, CEOs e indústrias que desejam utilizar a escala *I4.0-Maturity Fabfut*:

1. **Defina o objetivo da avaliação.** O que você deseja alcançar com a avaliação? Você deseja identificar áreas de melhoria? Desenvolver planos de ação? Ou simplesmente avaliar o nível de maturidade da Indústria 4.0 em sua organização?
2. **Selecione as pessoas certas para responder ao questionário.** As pessoas que responderem ao questionário devem ter conhecimento das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e do funcionamento da empresa.
3. **Análise os resultados com cuidado.** Os resultados da avaliação devem ser analisados com cuidado para identificar áreas de melhoria.
4. **Desenvolva planos de ação para melhorar a maturidade da Indústria 4.0.** Os planos de ação devem ser específicos, mensuráveis, alcançáveis, relevantes e temporais.

A escala *I4.0-Maturity Fabfut* é uma ferramenta que pode ajudar as empresas a melhorar seu desempenho e competitividade na era digital.

### 5.3 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Uma das principais limitações da pesquisa DSR é a sua aplicabilidade restrita a problemas específicos e contextos práticos. Essa abordagem é mais adequada para resolver problemas concretos e bem definidos, nos quais é possível projetar e desenvolver um artefato tangível. Portanto, pode não ser apropriada para problemas mais abstratos ou complexos que exigem uma compreensão mais profunda e teórica.

Outra limitação da pesquisa DSR é a sua dependência da disponibilidade de recursos e conhecimentos técnicos para desenvolver os artefatos propostos. Nem sempre é viável e acessível ter os recursos necessários para criar e testar um artefato em um contexto real. Além disso, a pesquisa DSR requer uma forte base de conhecimento técnico e habilidades específicas para garantir a validade e eficácia dos artefatos desenvolvidos.

A pesquisa DSR pode ser limitada em termos de generalização dos resultados. Como essa abordagem se concentra na criação de soluções específicas para problemas particulares, os resultados obtidos podem não ser facilmente generalizáveis para outros contextos ou problemas

semelhantes. Isso limita a capacidade de extrapolar as conclusões da pesquisa DSR para além do problema específico em estudo.

Um outro entrave da pesquisa foi o baixo engajamento dos respondentes é a falta de motivação. Muitas vezes, os participantes não veem valor ou interesse suficiente na pesquisa para dedicar seu tempo e esforço em responder às perguntas. Isso pode ocorrer quando a pesquisa não está alinhada com os interesses ou necessidades dos participantes, ou quando não há incentivos adequados para a participação.

Foi relatado por uma das empresas a sobrecarga de pesquisas também pode contribuir para o baixo engajamento dos respondentes. Se os participantes são frequentemente bombardeados com solicitações de pesquisa, é provável que eles se tornem menos dispostos a participar e possam até mesmo ignorar ou descartar os convites para responder. Inicialmente a pesquisa era para ser a nível Brasil, mas pelo número baixo de respondentes por Email, optou-se por aplicar a pesquisa no setor metalmeccânico da serra gaúcha.

#### 5.4 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

No contexto prático de desenvolvimento de produto/serviço, a aplicação do *EXPDP* poderá envolver a criação de protótipos rápidos e de baixo custo, a realização de testes de usabilidade e a coleta de feedback do usuário de forma ágil. Essas atividades permitem que os desenvolvedores obtenham insights valiosos sobre o produto/serviço em desenvolvimento, identificando oportunidades de melhoria e validando suas hipóteses antes de investir recursos significativos na implementação final.

Suponhamos que uma empresa de tecnologia esteja desenvolvendo um novo aplicativo de entrega de comida. Ao utilizar o *EXPDP* nesse estudo de caso, a equipe de desenvolvimento seguiria algumas etapas específicas. Inicialmente, a equipe realizaria uma pesquisa de mercado para identificar as necessidades e preferências dos usuários. Essa pesquisa poderia incluir entrevistas, questionários e análise de concorrentes. Com base nas informações coletadas, a equipe definiria os principais requisitos e características do aplicativo.

Em seguida, os desenvolvedores começariam a fase de prototipagem. Utilizando o *EXPDP*, eles criariam protótipos rápidos do aplicativo para testar e validar suas ideias. Esses protótipos poderiam ser feitos em papel, *software de design* ou até mesmo em ferramentas de prototipagem interativas. Eles permitiriam que a equipe visualizasse e interagisse com o aplicativo, identificando possíveis melhorias e ajustes.



Após a criação dos protótipos, a equipe iniciaria a fase de testes e interação. Eles convidariam usuários reais para experimentar o aplicativo e fornecer *feedback*. Com base nesse *feedback*, os desenvolvedores refinariam o projeto, corrigindo problemas e aprimorando a experiência do usuário.

Ao longo do processo, a equipe continuaria a iterar e aperfeiçoar o aplicativo, realizando testes e coletando feedback em cada etapa. Eles poderiam organizar sessões de teste em laboratório, realizar pesquisas de satisfação e analisar métricas de uso para obter informações valiosas sobre a usabilidade, desempenho e aceitação do aplicativo.

A aplicação do *EXPDP* nesse estudo de caso permitiria que a equipe de desenvolvimento explorasse diferentes abordagens e soluções, garantindo flexibilidade e adaptabilidade ao longo do processo. Além disso, a metodologia incentivaria a colaboração e o aprendizado contínuo entre os membros da equipe, promovendo a criatividade e a inovação. Aplicação do *EXPDP* em ambientes altamente tecnológico como o desenvolvimento de *Startups*.

## REFERÊNCIAS

- ACATECH. **Recommendations for implementing the strategic initiative** INDUSTRIE 4.0. National Academy of Science and Engineering, 2013. Disponível em: < [https://en.acatech.de/wp-content/uploads/sites/6/2018/03/Final\\_report\\_\\_Industrie\\_4.0\\_accessible.pdf](https://en.acatech.de/wp-content/uploads/sites/6/2018/03/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf)>. Acesso em: 02, jun, 2022.
- ASSIS, C.; MENDES, L. **Histórico das leis de proteção de dados e da privacidade na internet**. 2021. Disponível em: < <https://assisemendes.com.br/historico-protecao-de-dados/>>. Acesso em: 15, nov, 2021.
- ATTARAN, M. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. **Business Horizons**, v. 60, n. 5, p. 677-688, 2017.
- AUSTIN, W. W.; BRENNAN, L. L.; HUNT, J. L. Legal Truth and Consequences for a Failed ERP Implementation. **Journal of Cases on Information Technology (JCIT)**, v. 13, p. 37-56, n. 1, 2011.
- AVHAD, A; SCHOU, C; MADSEN, O. A framework for multi-robot control in execution of a Swarm Production System. **Computers in Industry**, v. 151, p. 103981, 2023.
- BARBIERI, G. **Platform-based Design: methodology refinement and application to Cyber-Physical Production Systems**. 2016. Tese de Doutorado. University of Modena and Reggio Emilia.
- BARBOSA, A. M. C; SAISSE, M. C. P. Hybrid project management for sociotechnical digital transformation context. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 2, p. 316-332, 2019.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BAUMERS, M; TUCK, C; HAGUE, R. Realised levels of geometric complexity in additive manufacturing. **International Journal of Product Development**, v. 13, n. 3, p. 222-244, 2011.
- BIBBY, L; DEHE, B. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector. **Production Planning & Control**, v. 29, n. 12, p. 1030-1043, 2018.
- BEN-DAYA, M; HASSINI, E; BAHROUN, Z. Internet of things and supply chain management: a literature review. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 15-16, p. 4719-4742, 2017.
- BLÜHER, T. et al. Research opportunities in PSS design focusing on the potentials of agile approaches. **Procedia CIRP**, v. 84, p. 832-837, 2019.
- BOSS, S. R. *et al.* What do systems users have to fear? Using fear appeals to engender threats and fear that motivate protective security behaviors. **MIS quarterly**, v. 39, n. 4, p. 837-864, 2015.

BURRELL, G; MORGAN, . Sociological paradigms and organizational analysis. **London: Aldershot, Gower**, 2006

CALLON, M.; COURTIAL, J. P.; PENAN, H. Cienciometría. El estudio cuantitativo de la actividad científica: de la bibliometría a la vigilancia tecnológica. **Gijón, España: Ediciones TREA**, 1995.

CAVATA, J. T. et al. Destacando os benefícios da Indústria 4.0 na produção: uma abordagem de simulação baseada em agentes. **Gestão & Produção**, v. 27, 2020.

CAO, X. et al. Multidiscipline applications of triboelectric nanogenerators for the intelligent era of Internet of Things. **Nano-Micro Letters**, v. 15, n. 1, p. 14, 2023.

CHEN, P; KATARIA, G; KRISHNAN, R. Correlated failures, diversification, and information security risk management. **MIS quarterly**, p. 397-422, 2011.

CRESWELL, J. W; CRESWELL, J. D. **Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Penso Editora, 2021.

CHIEW, K. Scheduling and routing of autonomous moving objects on a mesh topology. **Operational Research**, v. 12, n. 3, p. 385-397, 2012.

COLLATTO, D. C. et al. Is action design research indeed necessary? Analysis and synergies between action research and design science research. **Systemic Practice and Action Research**, v. 31, n. 3, p. 239-267, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI (2016). **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Disponível em:<<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>>. Acesso em: 25, out, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI (2021). **Comparação do Brasil com outros países**. Disponível em <http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/competitividade-brasil-comparacao-com-paises-selecionados/>. Acesso em: 26 out, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI (2021). **Indicadores Industriais no Brasil**. Disponível em:<http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/indicadores-industriais/>. Acesso em: 26 out, 2021.

COOPER R. G. **Winning at new products**: accelerating the process from idea to launch. 1993.

COOPER, R. G. Perspective: The stage-gate® idea-to-launch process—update, what's new, and nexgen systems. **Journal of product innovation management**, v. 25, n. 3, p. 213-232, 2008.

COOPER, R. G. Stage-gate systems: a new tool for managing new products. **Business horizons**, v. 33, n. 3, p. 44-54, 1990.

COOPER, R. G. The drivers of success in new-product development. **Industrial Marketing Management**, v. 76, p. 36-47, 2018.

COOPER, R. G. What's next? After the Stage-gate. **Research-Technology Management**, v. 57, n. 1, p. 20-31, 2014.

COOPER, R. G. **Produtos que dão certo**. Saraiva Educação SA, 2017.

COOPER, R. G.; SOMMER, A. F. The agile–stage-gate hybrid model: a promising new approach and a new research opportunity. **Journal of Product Innovation Management**, v. 33, n. 5, p. 513-526, 2016.

COOPER, R. G.; SOMMER, A. F. Agile–Stage-gate for Manufacturers: Changing the Way New Products Are Developed Integrating Agile project management methods into a Stage-gate system offers both opportunities and challenges. **Research-Technology Management**, v. 61, n. 2, p. 17-26, 2018.

COPPER, H. **The integrative research reviews a social science approach**. Beverly Hills: Sage, 1984.

CORÒ, G. et al. Industry 4.0 technological trajectories and traditional manufacturing regions: the role of knowledge workers. **Regional Studies**, v. 55, n. 10-11, p. 1681-1695, 2021.

CRONHOLM, S; GÖBEL, H. Action design research: integration of method support. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 15, n. 8, p. 19-47, 2022.

CVITIC, I. et al. Novel Classification of IoT Devices Based on Traffic Flow Features. **Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)**, v. 33, n. 6, p. 1-20, 2021.

DASH, S. et al. Big data in healthcare: management, analysis and future prospects. **Journal of Big Data**, v. 6, n. 1, p. 1-25, 2019.

DAVIS, W. et al. Simulation and scheduling. In: Proceedings of the 1991 **Winter Simulation Conference**. 1991. p. 382-391.

DELOITTE CONSULTORIA (2018). **The Internet of Things: A technical primer**. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/global/en/insights/focus/internet-of-things/technical-primer.html>>. Acesso em: 16, nov, 2021

DELOITTE CONSULTORIA (2019). **The Industry 4.0 Paradox**. Disponível em:< <https://www2.deloitte.com/br/pt/pages/energy-and-resources/articles/paradoxo-industria-4-0.html>>. Acesso em: 23 out, 2021.

DE TOLEDO, J. C. et al. Lean development and its impacts on the performance of new product processes: an analysis of innovative Brazilian companies. **Research in Engineering Design**, p. 1-16, 2023.

DEVELLIS, R. F.; THORPE, C. T. **Scale development: Theory and applications**. Sage publications, 2021.

DING, K. et al. Defining a digital twin-based cyber-physical production system for autonomous manufacturing in smart shop floors. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 20, p. 6315-6334, 2019.

DINIZ, E. H. et al. Formação, disseminação e colaboração: internacionalização em administração de sistemas de informação. **RAC**, v. 21, n. 6, p. 811-831, 2017.

DOSI, G; NELSON, R. R. An introduction to evolutionary theories in economics. **Journal of evolutionary economics**, v. 4, n. 3, p. 153-172, 1994.

DRESCH, A; LACERDA, D. P; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Bookman Editora, 2015.

DRESCH, A. Design science e design science research como artefatos metodológicos para engenharia de produção. 2013. **Dissertação** em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade do Rio dos Sinos – Unisinos. Rs. Disponível em:< <http://www.repositorio.jesuita.org.br/bitstream/handle/UNISINOS/4075/51.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 31, ago, 2022.

ELSISI, M. et al. A comprehensive review of machine learning and IoT solutions for demand side energy management, conservation, and resilient operation. **Energy**, p. 128256, 2023.

ESTENSORO, M. et al. A resource-based view on SMEs regarding the transition to more sophisticated stages of Industry 4.0. **European Management Journal**, 2021.

FANG, C; MARLE, F. A simulation-based risk network model for decision support in project risk management. **Decision Support Systems**, v. 52, n. 3, p. 635-644, 2012.

FATHI, M. et al. Big data analytics in weather forecasting: A systematic review. **Archives of Computational Methods in Engineering**, v. 29, n. 2, p. 1247-1275, 2022.

FERNÁNDEZ, J. M. L; BARRERO, D. L. B; ROJAS, L. A. R. Industria 4.0: el reto para las pymes manufactureras de Bogotá, Colombia. **Revista Mutis**, v. 12, n. 1, 2022.

FREITAS, H. et al. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 35, n. 3, 2000.

GANZARAIN, J; ERRASTI, N. Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. **Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM)**, v. 9, n. 5, p. 1119-1128, 2016.

GISARIO, A. et al. Metal additive manufacturing in the commercial aviation industry: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 53, p. 124-149, 2019.

GÖKALP, E; ŞENER, U; EREN, P. E. Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. In: **International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination**. Springer, Cham, 2017. p. 128-142.

GODOY, A. S. Refletindo sobre critérios de qualidade da pesquisa qualitativa. **Gestão. org**, v. 3, n. 2, p. 80-89, 2005.

GUIMARÃES, M.G., **Proposta de um Método para a Redução do Lead Time de Desenvolvimento da Indústria Calçadista**: um Estudo de Caso, Dissertação de mestrado, UNISINOS, 2009.

HÄFNER, V; MICHELS, F. Automating Virtualization of Machinery for enabling efficient Virtual Engineering Methods. **Frontiers in Virtual Reality**, p. 173.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. Bookman editora, 2009

HALPER, F; KRISHNAN, K. TDWI big data maturity model guide: interpreting your assessment score. **TDWI Benchmark Guide**, v. 2014, p. 2013. Disponível em:< <https://tdwi.org/~media/3BF039A2F7E1464B8290D8A9880FEC22.pdfma>>. Acesso em: 28, nov, 2021.

HERMANN, M; PENTEK, T; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HOSSAIN, S. S; AHMED, P; ARAFAT, Y. Software Process Metrics in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study. In: **International Conference on Computational Science and Its Applications**. Springer, Cham, 2021. p. 15-26.

HU, K. et al. Identifying the key factors of subsidiary supervision and management using an innovative hybrid architecture in a big data environment. **Financial Innovation**, v. 7, n. 1, p. 1-27, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2021). **Produto Interno Bruto**. Disponível em:< <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 26, out, 2021.

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION – IBM. (2021). **IBM Cloud Solutions**. Disponível em:< <https://www.ibm.com/br-pt/cloud>>. Acesso em: 15, nov, 2021.  
*International Federation of Robotics – IFR*, (2021).

IVANOV, D. Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 136, p. 101922, 2020.

JAMIL, S; RAHMAN, ; FAWAD. A comprehensive survey of digital twins and federated learning for industrial internet of things (IIoT), internet of vehicles (IoV) and internet of drones (IoD). **Applied System Innovation**, v. 5, n. 3, p. 56, 2022.

JOHANSSON, S. et al. Digital production innovation projects–The applicability of managerial controls under high levels of complexity and uncertainty. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2020.

JÚNIOR, Ada Silveira Rodrigues *et al.* Um material potencialmente significativo para o ensino da engenharia civil utilizando impressora 3D e realidade aumentada: uma experiência com alunos do ensino médio e do ensino superior. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10855-10868, 2020.

KAGERMANN, H. et al. Acatech–National Academy of Science and Engineering. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE**, v. 4, 2013.

KAGERMANN, H. Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In: **Management of permanent change**. Springer Gabler, Wiesbaden, 2015. p. 23-45.

KANG, H. S. et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International journal of precision engineering and manufacturing-green technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.

KIM, T. H; CHOO, H. J. Augmented reality as a product presentation tool: focusing on the role of product information and presence in AR. **Fashion and Textiles**, v. 8, n. 1, p. 1-23, 2021.

KLIN, R. B. **Principles and practice of structural equation modeling**. Guilford publications, 2023.

KOLTAYS, A; KONEV, A; SHELUPANOV, A. Mathematical Model for Choosing Counterparty When Assessing Information Security Risks. **Risks**, v. 9, n. 7, p. 133, 2021.

KOPMANN, J. et al. The role of project portfolio management in fostering both deliberate and emergent strategy. **International Journal of Project Management**, v. 35, n. 4, p. 557-570, 2017.

KUSHIDA, K. E.; MURRAY, J; ZYSMAN, J. Diffusing the cloud: Cloud computing and implications for public policy. **Journal of Industry, Competition and trade**, v. 11, n. 3, p. 209-237, 2011.

LACERDA, D. P. et al. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761, 2013.

LANEY, D. et al. 3D data management: Controlling data volume, velocity and variety. **META group research note**, v. 6, n. 70, p. 1, 2001.

LANZONI, G. M. M; MEIRELLES, B. H. S. Liderazgo del enfermero: una revisión integradora de la literatura. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 19, n. 3, p. 651-658, 2011.

LEE, In. Pricing and Profit Management Models for SaaS Providers and IaaS Providers. **Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research**, v. 16, n. 4, p. 859-873, 2021.

LEE, K. S; NOR, N. M; ISMAIL, F. Industry 4.0 and Lean Manufacturing Practices: An Approach to Enhance Operational Performance in Singapore's Manufacturing Sector. **Research in Management of Technology and Business**, v. 2, n. 1, p. 456-472, 2021.

LICHTBLAU, K. et al. **IMPULS-Industrie 4.0-Readiness, Impuls-Stiftung des VDMA**, Aachen-Köln. 2015.

LI, J; XIAO, W; ZHANG, C. Data security crisis in universities: identification of key factors affecting data breach incidents. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2023.

LIU, Z. Regeneration of Liangzhu culture: multimedia exhibition, simulated restoration, innovative cultural products, nearby area integration, virtual reality and augmented reality. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 10, n. 1, p. 1-18, 2023.

LI, J. et al. L-EncDB: A lightweight framework for privacy-preserving data queries in cloud computing. **Knowledge-Based Systems**, v. 79, p. 18-26, 2015.

LI, M. et al. Blockchain-based digital twin sharing platform for reconfigurable socialized manufacturing resource integration. **International Journal of Production Economics**, v. 240, p. 108223, 2021.

LIAO, Y. et al. The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison. **Production**, v. 28, 2018.

MAKPAISIT, P; CHANTRAPORNCHAI, C. VEDAS: an efficient GPU alternative for store and query of large RDF data sets. **Journal of Big Data**, v. 8, n. 1, p. 1-34, 2021.

MALHOTRA, N; NUNAN, D; BIRKS, D. **Marketing research: An applied approach**. Pearson, 2017.

MARSON, M. D. A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920. **SciELO**, São Paulo, out/dez. 2014. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0101-41612015000400753](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612015000400753)>. Acesso em: 15, nov, 2021.

MASUHR, C. et al. VR-basierte Entwicklungswerkzeuge für die virtuelle Inbetriebnahme. **Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb**, v. 115, n. 10, p. 727-730, 2020

MERRIAM, S. B. **Qualitative Research and Case Study Applications in Education. Revised and Expanded from " Case Study Research in Education."**. Jossey-Bass Publishers, 350 Sansome St, San Francisco, CA 94104, 1998.

MICROSOFT HOLOLENS (2021). **Óculos de realidade aumentada**. Disponível em: < <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>>. Acesso em 15, nov, 2021.

MILGRAM, P; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems**, v. 77, n. 12, p. 1321-1329, 1994



MUKAI, Y; LI, S; SUH, M. 3D-printed thermoplastic polyurethane for wearable breast hyperthermia. **Fashion and Textiles**, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2021.

MÜLLER, J. M; BULIGA, O; VOIGT, K. Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 2-17, 2018.

NAKANO, L. Y. et al. A Preliminary Discussion of Digital Transformation and Semantic Interoperability to Support the Information Exchange in the Business Process. In: **Transdisciplinary Engineering for Resilience: Responding to System Disruptions**. IOS Press, 2021. p. 151-160.

NEWMAN, D; LOGAN, D. Gartner introduces the EIM maturity model. **Gartner Research Publication, ID**, n. G00160425, 2008. Disponível em:<  
<https://www.gartner.com/en/documents/846312/overview-gartner-introduces-the-eim-maturity-model>>. Acesso em: 27, nov, 2021.

ÖSTERREICH, T. D; TEUTEBERG, F. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in industry**, v. 83, p. 121-139, 2016.

OZTEMEL, E; GURSEV, S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

PALSODKAR, M; YADAV, G; NAGARE, M. R. Integrating Industry 4.0 and agile new product development practices to evaluate the penetration of sustainable development goals in manufacturing industries. **Journal of Engineering, Design and Technology**, 2023.

PERMIN, E. et al. Creating digital products in engineering companies—a practitioner’s review. **Procedia CIRP**, v. 100, p. 205-210, 2021

PETERSEN, K., FELDT, R., MUJTABA, S., MATTSON, M. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. **12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering**. 2008

PIEKARSKI, W; THOMAS, B. H. The tinmith system--demonstrating new techniques for mobile augmented reality modelling. **Journal of Research and Practice in Information Technology**, v. 34, n. 2, p. 82-97, 2002.

PLMPRO Softwares – (2021). **Nx Cam**. Disponível em:<  
<https://www.plmpro.com.br/servicos/nx-cam>>. Acesso em:17, nov, 2021.

POST, Corinne et al. Advancing theory with review articles. **Journal of Management Studies**, v. 57, n. 2, p. 351-376, 2020.

POUSHNEH, A. How close do we feel to virtual product to make a purchase decision? Impact of perceived proximity to virtual product and temporal purchase intention. **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 63, p. 102717, 2021.

PRICE, DJ de S. The structures of publication in science and technology. **Factors in the Transfer of Technology**, p. 91-104, 1969.

QIN, J; VAN DER RHEE, B. From trash to treasure: A checklist to identify high-potential NPD projects from previously rejected projects. **Technovation**, v. 104, p. 102259, 2021

QUINAZ, Frederico Pina Marques Dias. Determinantes do sucesso no desenvolvimento de novos produtos: O caso COFICAB. 2022. **Dissertação de Mestrado em Gestão**. Universidade de Coimbra. Portugal. Disponível em:<  
<https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/100656>> . Acesso em: 15, set, 2023.

RIVIN, E. I. **Mechanical design of robots**. McGraw-Hill, Inc., 1987.

ROSSI FILHO, T. A. Um método para o desenvolvimento de competências para a indústria 4.0 através de tecnologias de realidade virtual. **Tese**. (Doutorado em Informática na Educação) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Centro de Estudos Interdisciplinares em Novas Tecnologias da Educação. Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação. Porto Alegre. 2021.

ROZENFELD, H; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D C; et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**. 1st ed. São Paulo: Saraiva Editora, 2006.

ROWLEY, J. Designing and using research questionnaires. **Management research review**, 2014.

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

RUIZ-SARMIENTO, J; GALINDO, C; GONZALEZ-JIMENEZ, J. Exploiting semantic knowledge for robot object recognition. **Knowledge-Based Systems**, v. 86, p. 131-142, 2015.

SACCOL, A. Z. Um retorno ao básico: compreendendo os paradigmas de pesquisa e sua aplicação na pesquisa em administração. **Revista de Administração da UFSM**, v. 2, n. 2, p. 250-269, 2009.

SACOMANO, J. B. et al. **Indústria 4.0**. Editora Blucher, 2018.

SANTOS, R. C; MARTINHO, J. L. An Industry 4.0 maturity model proposal. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v.1, n. 1, p. 1-15, 2019.

SARIC, I. et al. Development of integrated intelligent CAD system for calculation, designing and development of bridge crane. **Journal of Applied Science and Engineering**, v. 23, n. 2, p. 349-355, 2020.

SAUNDERS, M.; LEWIS, F.; THORNHILL, A. **Research methods for business students**. 5° ed. Pearson Education Índia, 2014.

SEELIGER, A; CHENG, L; NETLAND, T. Augmented reality for industrial quality inspection: An experiment assessing task performance and human factors. **Computers in Industry**, v. 151, p. 103985, 2023.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial**. 3. ed. Cambridge: MIT Press, 1996.

SCHOLL, K. Robot-based production faces new challenges. **ATZproduktion worldwide eMagazine**, v. 4, n. 4, p. 28-33, 2011.

SCHUH, G. et al. (Ed.). **Industrie 4.0 maturity index: managing the digital transformation of companies**. Herbert Utz Verlag GmbH, 2017. Disponível em: [https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech\\_STUDIE\\_Maturity\\_Index\\_eng\\_WEB.pdf](https://www.acatech.de/wp-content/uploads/2018/03/acatech_STUDIE_Maturity_Index_eng_WEB.pdf) . Acesso em: 28, nov, 2021.

SCHUMACHER, A; EROL, S; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 52, p. 161-166, 2016.

SCHUMACHER, A; NEMETH, T; SIHN, W. Roadmapping towards industrial digitalization based on an Industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, v. 79, p. 409-414, 2019.

SEDKAOUI, S. **Data analytics and big data**. John Wiley & Sons, 2018.

SETHI, R; IQBAL, Z. Stage-gate controls, learning failure, and adverse effect on novel new products. **Journal of Marketing**, v. 72, n. 1, p. 118-134, 2008.

SIEMENS (2021). **Softwares de simulação**. Disponível em: <<https://new.siemens.com/br/pt/produtos/software/industria/simit.html>>. Acesso em: 17, nov, 2021.

SIMON, H. A. **The Sciences of the Artificial, reissue of the third edition with a new introduction by John Laird**. MIT press, 2019.

SILVEIRA, C. B; LOPES, G. C. O que é indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo. 2017. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>>. Acesso em: 15, nov, 2021.

SINGH, R; GARG, V. Human Factors in NDE 4.0 Development Decisions. **Journal of Nondestructive Evaluation**, v. 40, n. 3, p. 1-17, 2021

SCHOLL, K. Robot-based production faces new challenges. **ATZ produktion worldwide e Magazine**, v. 4, n. 4, p. 28-33, 2011.

SOROOSHIAN, S., PANIGRAHL, S. Impacts of the 4th Industrial Revolution on Industries. Walailak **Journal of Science and Technology**. v.17, n. 8, 2020.

**STAGE-GATE INTERNACIONAL** - (2021). Disponível em <<https://www.Stage-gate.la/modelo-Stage-gate/>>. Acesso em: 25, out, 2021.

TAO, F. et al. Digital twin-driven product design framework. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 12, p. 3935-3953, 2019.

TSANG, Y. P. et al. Unlocking the power of big data analytics in new product development: An intelligent product design framework in the furniture industry. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 62, p. 777-791, 2022.

TIAN, Y. et al. Efficient identity-based multi-copy data sharing auditing scheme with decentralized trust management. **Information Sciences**, v. 644, p. 119255, 2023.

**UNIVERSITIES OF THE FUTURE**, (2021). Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Funiversitiesofthefuture.eu%2Fwp-content%2Fuploads%2F2021%2F08%2FHandbook-for-HEIs\_reviewed.pdf&clen=17336892&chunk=true>. Acesso em: 25 out, 2021.

VANCE, A; SIPONEN, M; PAHNILA, S. Motivating IS security compliance: Insights from habit and protection motivation theory. **Information & Management**, v. 49, n. 3-4, p. 190-198, 2012.

VARO-MARTÍNEZ, M. et al. Design and 3D Manufacturing of an Improved Heliostatic Illuminator. **Inventions**, v. 7, n. 4, p. 127, 2022.

VASCONCELLOS, L. H. R; MARX, R. Como ocorrem as inovações em serviços? Um estudo exploratório de empresas no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 18, p. 443-460, 2011.

VAN AKEN, J. E. Management research as a Design Science articulating the research products of mode 2 knowledge production in management. **British Journal of Management**, v. 16, p. 19-36, mar. 2005.

VILLANUEVA, P. J. et al. Process of Design and Materialization of an Emergency Structure as Part of a Methodological Proposal. **Computer-Aided Design and Applications**. v. 21, p. 119-130, n. 1, 2024.

WAMBA, S. F. et al. How ‘big data can make a big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study. **International Journal of Production Economics**, v. 165, p. 234-246, 2015.

WANG, S. et al. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International journal of distributed sensor networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805,

WEBER, C. et al . M2DDM– A Maturity Model for Data-Driven Manufacturing. **Procedia – 2017**

**World Robotics 2021 report**. Disponível em: < chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fifr.org%2Fdownloads%2Fpress2018%2F2021\_10\_28\_WR\_PK\_Presentation\_long\_version.pdf&clen=6211066&chunk=true>. Acesso em: 18, nov, 2021.

XIONG, R. et al. Design and Implementation of a Battery Big Data Platform Through Intelligent Connected Electric Vehicles. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 36, n. 1, p. 56, 2023.

XU, J. et al. Multi-Objective Graph Heuristic Search for Terrestrial Robot Design. In: **2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)**. IEEE, 2021. p. 9863-9869.

XU, L. D. Information architecture for supply chain quality management. **International Journal of Production Research**, v. 49, n. 1, p. 183-198, 2011.

XU, L. D; XU, E. L.; LI, L. Industry 4.0: state of the art and future trends. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

YANG, Y; ZHANG, X; FU, Y. Foreign tourists' experiences under air pollution: Evidence from big data. **Tourism Management**, v. 88, p. 104423, 2022.

YANG, X. et al. Meta-model-based shop-floor digital twin architecture, modeling and application. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 84, p. 102595, 2023.

YIM, M. Y; CHU, S; SAUER, P. L. Is augmented reality technology an effective tool for e-commerce? An interactivity and vividness perspective. **Journal of Interactive Marketing**, v. 39, p. 89-103, 2017.

YIN, R. K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015

ZAPATA, M. L; BERRAH, L; TABOUROT, L. Is a digital transformation framework enough for manufacturing smart products? The case of Small and Medium Enterprises. **Procedia Manufacturing**, v. 42, p. 70-75, 2020.

ZHAO, A. et al. RoboGrammar: graph grammar for terrain-optimized robot design. **ACM Transactions on Graphics (TOG)**, v. 39, n. 6, p. 1-16, 2020.

ZHAO, X. et al. Platform-independent visual installation progress monitoring for construction automation. **Automation in Construction**, v. 154, p. 104996, 2023.

ZHANG, Y. et al. Deadline-aware dynamic task scheduling in edge–cloud collaborative computing. **Electronics**, v. 11, n. 15, p. 2464, 2022.

WU, X. et al. How to react to hacker types and asset types in security decision-making. **Expert Systems with Applications**, p. 120654, 2023.

## APÊNDICE “A” – BUSCAS FEITAS NA BDTD E NDLTD

Foi feita uma busca no Banco de Teses e Dissertações Brasileiro e não foram encontrados documentos com os termos “*Stage-gate*” AND “*indústria 4.0*”. Não foi encontrado nenhum documento.

Figura 60 - Busca na BDTD com os termos “*Stage-gate*” AND “*indústria 4.0*”, com recorte a temporal

The screenshot shows the BDTD search interface. At the top, there are navigation links for 'Participe', 'Acesso à informação', 'Legislação', and 'Canais'. The search bar contains the terms: "Your search terms : '(All Fields:"stage gate" AND All Fields:"Industria 4.0")'". Below the search bar, it says "No Results!" and "Your search - (All Fields:"stage gate" AND All Fields:"Industria 4.0") - did not match any resources." A suggestion box offers: "Perhaps you should try some spelling variations: 'stage gate' » 'stage\_gates'".

Fonte: BDTD (2022)

Na Figura 61, é evidenciada a busca na *Networked Digital Library of Theses and Dissertations* (NDLTD), quando foram incluídos os seguintes termos: “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*” com recorte a temporal onde foi encontrado 1 documento.

Figura 61 - Busca feita na base internacional de teses e dissertações – NDLTD

The screenshot shows the NDLTD search results page. The search bar contains the terms: "stage gate" AND "industry 4.0". The results section shows one result: "1 Nail Fashion 4.0: A Study on the Business Model Development / 美甲時尚4.0 –商業模式開發之探討" by You-je Huang, published in January 2019. The abstract of the document is visible, discussing the integration of IoT and Industry 4.0 in the beauty market.

Fonte: NDLTD (2022).

## APÊNDICE “B” – BUSCAS FEITAS NAS BASES SCOPUS E WEB OF SCIENCE

Foi feita uma busca na base de dados *Scopus* com os termos em inglês “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*” Onde foram encontrados 2 documentos.

Figura 62 - Busca na base Scopus com os termos “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”, de 2012 a 2022

The screenshot shows the Scopus search interface. At the top, there is a search bar and navigation links. Below the search bar, a notification banner indicates a test version of the search results page is available. The main heading is "2 document results". The search query is displayed as: (TITLE-ABS-KEY ("stage gate") AND TITLE-ABS-KEY ("industry 4.0")) AND PUBYEAR > 2011 AND PUBYEAR < 2022. Below the query, there are options to edit, save, or set an alert. The results are displayed in a table with columns for Document title, Authors, Year, Source, and Cited by. The first result is: 1 Human Factors in NDE 4.0 Development, Singh, R., 2021, Journal of Nondestructive Evaluation, 0.

Fonte: *Scopus* (2022)

Foi feita uma busca na base de dados *Web of Science* com os termos em inglês “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”. Onde foram encontrados 3 documentos.

Figura 63 - Busca na base *Web of Science* com os termos “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”, de 2012 a 2022

The screenshot shows the Web of Science search interface. At the top, there is a search bar and navigation links. Below the search bar, the search results are displayed. The main heading is "3 results from Web of Science Core Collection for: 'Stage gate' (All Fields) and 'industry 4.0' (All Fields)". Below the heading, there are options to analyze results, citation report, or create an alert. The results are displayed in a table with columns for Document title, Authors, Year, Source, and References. The first result is: 1 University Spin-Off: Effective Solution on Technology Transfer in AEC Industry for Intelligent City Transformation, Maskuriy, R; Selamat, A; (-); Krejcar, O, 2021, HRADEC ECONOMIC DAYS, VOL 11(1) 11, pp.564-570, 18 References.

Fonte: *Web of Science* (2022)

## APÊNDICE “C” – BUSCAS FEITAS NAS BASES *SCIENCE DIRECT* E *SAGE*

Foi feita uma busca na base de dados *Science Direct* com os termos em inglês “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”. Onde foram encontrados 28 documentos.

Figura 64 - Busca na base *Science Direct* com os termos “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”, de 2012 a 2022

The screenshot shows the ScienceDirect search interface. At the top, there are navigation links for 'Journals & Books', 'Register', and 'Sign in'. The search bar contains the query "stage gate"AND"industry 4.0". Below the search bar, the search criteria are set to 'Year: 2012-2022' and 'Advanced search'. The results section shows '28 results' and a 'Set search alert' option. On the left, there is a 'Refine by:' section with checkboxes for 'Subscribed journals' and 'Years'. The 'Years' section lists years from 2022 to 2016 with corresponding counts: 2022 (3), 2021 (8), 2020 (3), 2019 (6), 2018 (5), 2017 (1), and 2016 (2). The main results list shows two articles, both marked as 'Open access'. The first article is 'A resource-based view on SMEs regarding the transition to more sophisticated stages of industry 4.0' from the European Management Journal, published online on 13 October 2021, by Miren Estensoro, Miren Larrea, and Eduardo Sisti. The second article is 'Smart Virtual Product Development (SVPD) to Enhance Product Manufacturing in Industry 4.0' from Procedia Computer Science, published on 14 October 2019, by Muhammad Bilal Ahmed, Cesar Sanin, and Edward Szczerbicki. Each article has options to 'Download PDF', 'Abstract', and 'Export'. At the bottom right, there is a 'Feedback' button.

Fonte: *Science Direct* (2022)

Foi feita uma busca na base de dados *Sage Journals* com os termos em inglês “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”. Foi encontrado 2 documentos.

Figura 65 - Busca na base *Sage* com os termos “*Stage-gate*” AND “*industry 4.0*”, de 2012 a 2022.

The screenshot shows the Sage Journals search interface. At the top, there are navigation links for 'SAGE journals', 'Search', 'Browse', 'Resources', and 'Access Options'. The search bar contains the query "Stage-gate" AND "industry 4.0". Below the search bar, the search criteria are set to 'Results: 2 of 2 for [All "stage gate"] AND [All "industry 4.0"]'. The results section shows 'Articles(2)' and a 'Save Search' button. On the left, there is a 'Download selected citations' section with a 'Select all' checkbox. The main results list shows one article, 'The Relationship Between Uncertainty and Task Execution Strategies in Project Management' by Tom Maes, Karolin Gebhardt, and Andreas Riel, published in Project Management Journal, First Published 28 Apr 2022. The article has options to 'Abstract' and 'Preview'. On the right, there is a 'PUBLICATION DATE' section with a range from 2012 to 2022. Below that, there is a 'SUBJECT' section with 'Engineering & Computing' (1) and 'Materials Science & Engineering' (1). At the bottom right, there is an 'ACCESS' section with 'Open Access Content Only'. At the bottom left, there are icons for 'Download selected citations', 'Abstract', and 'Preview'. At the bottom right, there is an 'Exibir todos' button.

Fonte: *Sage Journals* (2022)



## APÊNDICE “D” - REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA SOBRE MATURIDADE DA INDÚSTRIA 4.0

Quadro 14 - Resumo dos modelos de maturidade da I4. 0

(Continua)

Nº	Autor/Ano	Artigo	Objetivo	citações	Metodologia	Maturidade aplicada	Conclusão / contribuição
1	Nakano <i>et al.</i> , (2021)	<i>A preliminary discussion of digital transformation and semantic interoperability to support the information exchange in the business process</i>	Analisar o nível de maturidade da interoperabilidade e adotar ontologias como alternativa para integração de sistemas heterogêneos	0	Revisão de literatura	3 dimensões: 1 – conceito; 2 – tecnológica; 3 – organizacional. 5 níveis: (0) não preparado; (1) definido modelado; (2) alinhado aderido; (3) arquitetura aberta; (4) adaptado acomodado.	A pesquisa apresenta uma etapa preliminar para uma aplicação de sistema interoperável para empresas ou processos situados nas primeiras fases da transformação digital.
2	Morteza; Iranmanesh, (2021)	<i>Digital transformation success under Industry 4.0: a strategic guideline for manufacturing SMEs</i>	Fornecer para às pequenas e médias empresas (PMEs) manufatureiras uma diretriz para o sucesso da transformação digital na Indústria 4.0.	31	Revisão da literatura centrada no conteúdo para identificar os determinantes do sucesso da transformação digital	11 determinantes de sucesso que são vitais para os esforços de transformação digital das PMEs.	Os fabricantes de pequenas empresas devem ter recursos específicos, como gerenciamento de mudanças e capacidade de planejamento estratégico de digitalização, para atingir um certo grau de maturidade digital, operacional e cibernética.
3	Onyeme; Liyanage (2021)	<i>A critical review of smart manufacturing and industry 4.0 maturity manufacturing &amp; industry 4.0 maturity upstream industry</i>	Revisar os índices de maturidade da I4.0 no setor de óleo e sua usando a metodologia de revisão sistemática da literatura.	2	Revisão sistemática de literatura	Matriz de relação dos níveis de maturidade não apresentou escalas	O resultado da revisão mostra que a maioria dos artigos considerou principalmente as indústrias de manufatura e, como tal, os requisitos das indústrias de O&G não são atendidos pelos modelos selecionados. As principais conclusões deste estudo precisam ser abordadas para apoiar o setor de O&G em direção à implementação da Indústria 4.0.

(Continuação)

4	Fernandez; Barrero; Rojas, (2022)	<i>Industry 4.0: The Challenge for Manufacturing SMEs in Bogotá, Colombia</i>	Apresentar um diagnóstico relacionado à implantação da quarta revolução industrial nas pequenas e médias empresas manufatureiras em Bogotá, país Colômbia.	0	Revisão de literatura e questionário por <i>survey</i> digital. Quantitativa n = 100 empresas	5 dimensões para avaliar a maturidade: 1 – gestão dos recursos humanos; 2 – estratégia; 3 – recursos tecnológicos; 4 – gestão dos dados; 5 – cyber segurança.	Definir um roteiro pode ajudar a visualizar um plano de ação que permitir que as PMEs colham os benefícios da Indústria 4.0. Implementar estas tecnologias exigem grandes esforços, mas trazem benefícios como empoderamento de líderes organizacionais, o uso de informações para aumentar a produtividade, melhorando processos, redução de erros nos processos de produção.
5	Santos; Martinho, (2019)	<i>An Industry 4.0 maturity model proposal</i>	Objetivo deste artigo é descrever uma ferramenta para avaliar o nível de maturidade na implementação de conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 em empresas de manufatura.	22	Revisão da literatura sobre a indústria 4.0 e a análise comparativa dos modelos existentes; entrevistas com engenheiros e gerentes de indústrias relevantes; e testes-piloto em duas empresas: 1 empresa de manufatura, 2 empresas automotivas.	5 dimensões. 1- Estratégia organizacional, estrutura e cultura; 2 – trabalhadores; 3 - fábricas inteligentes; 4 - processos inteligentes; 5 - Produtos e serviços inteligentes. 5 níveis: (0) - baixo ou nenhum grau de implementação; (1) ações piloto em planejamento; (2) implementação das ações iniciadas; (3) implementação parcial de ações; (4) implementação avançada de ações; (5) referência na aplicação dos conceitos.	O modelo de maturidade proposto possui 41 variáveis considerando cinco dimensões (estratégia, estrutura e cultura organizacional; força de trabalho; fábricas inteligentes; processos inteligentes; produtos e serviços inteligentes). As empresas estudadas apresentaram diferentes níveis de implantação da Indústria 4.0. Segundo os entrevistados, o modelo é útil para fazer um diagnóstico inicial e estabelecer um roteiro para dar continuidade à implementação

(Continuação)

6	Schumacher; Nemetha; Sihna, (2018)	<i>Roadmapping towards industrial digitalization based on an industry 4.0 maturity model for manufacturing enterprises</i>	Apresentar um modelo de procedimento holístico que orienta as empresas de manufatura desde o primeiro contato com a Indústria 4.0 até a definição da etapa final do projeto.	114	Revisão de literatura O desenvolvimento do modelo de maturidade inicial começando em 2015 foi baseado em entrevistas com especialistas, workshops de profissionais e a inclusão de mais de 70 trabalhos em modelos de maturidade de vários campos do conhecimento.	8 dimensões. Dimensão 1 - Tecnologia (9 itens); Dimensão 2 - Produtos (7 itens); Dimensão 3 - Clientes e Parceiros (8 itens); Dimensão 4 - Processos de Criação de Valor (8 itens); Dimensão 5 - Dados e informações (8 itens); Dimensão 6 - Padrões Corporativos (8 itens); Dimensão 7 - Funcionários (9 itens); Dimensão 8 - Estratégia e Liderança (8 itens)	Deste modo- do ponto de vista prático - vemos a nossa principal contribuição no desenvolvimento e oferta de uma abordagem holística para liderar desde o início contato na Indústria 4.0 até a definição de cronogramas concretos, recursos e responsabilidades para a realização específica da empresa. Em um nível científico, nosso modelo deve ajudar a criar estrutura e rigor na área de pesquisa da indústria para a digitalização.
7	Bibby e Dehe , (2018)	<i>Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector</i>	O objetivo deste estudo é desenvolver uma estrutura de avaliação e medir Maturidade da indústria 4.0 de uma empresa focal: uma líder no setor de defesa, e compará-lo com 12 organizações dentro de sua rede de suprimento	100	Qualitativo e quantitativo. 12 entrevistas semiestruturadas, workshops e pontuação de item, que são incorporados em um estudo de caso. A empresa possui 1000 a 5000 funcionários.	3 dimensões: 1 – fábrica do futuro; 2 – pessoas e cultura; 3 – estratégia. 4 níveis: nível 1: mínimo; nível 2: desenvolvimento; nível 3: Definido; nível 4: excelência	O estudo é concluído, com base nos resultados da Indústria 4.0 testes de maturidade, que a empresa focal: líder mundial no setor manufatureiro de defesa reside no 'desenvolvimento' (nível 2) dentro da escala de maturidade geral da Indústria 4.0, com pontuação total de 59,35 pontos.

(Continuação)

8	Akdil <i>et al.</i> , (2018)	<i>Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy</i>	O objetivo deste capítulo é explicar “modelos de maturidade”; discutir e problemas ao implementar estratégias da Indústria 4.0.	46	Quantitativo e qualitativo. Empresa no setor de varejo	3 dimensões: 1 - estratégia e organização; 2 - produtos e serviços inteligentes; 3 - processos de negócios inteligente. 4 níveis: (1) maturidade; (2) sobreviveu; (3) existência; (4) ausência.	Diferentes áreas de aplicação foram propostas para Indústria 4.0, como finanças inteligentes, marketing inteligente e recursos humanos, a fim de diferenciar o modelo e aumentar a perspectiva das empresas para a Indústria 4.0. Portanto, uma empresa de varejo está em “Nível 1: Existência” em relação ao vencimento da Indústria 4.0.
9	Schuh <i>et al.</i> , (2017)	<i>Industrie 4.0 maturity index. Managing the digital transformation of companies</i>  Acatech	O objetivo geral deste estudo é fornecer um meio de estabelecer o estágio de maturidade atual da Indústria 4.0 das empresas e de identificar medidas concretas para ajudá-los a alcançar um maior estágio de maturidade, a fim de maximizar os benefícios econômicos de Industria 4.0 e digitalização	206	Quantitativa empresa Espelkamp da Harting AG & Co. KG. Possui 4300 funcionários e 43 empresas de vendas e 13 fábricas	4 dimensões: 1 - sistemas de informação; 2- cultura organizacional; 3 - recursos; 4 - estrutura organizacional. 6 níveis: (1) informatização; (2) conectividade; (3) visibilidade; (4) transparência; (5) previsibilidade; (6) adaptabilidade	O índice de maturidade acatech industrie 4.0 fornece às empresas com orientação para realizar essa transformação em uma empresa aprendente e ágil. O índice apresenta seis estágios de desenvolvimento consecutivos para quatro áreas-chave de cada empresa. Cada estágio oferece benefícios adicionais para a empresa. O índice pode ser usado para desenvolver um roteiro digital precisamente adaptado às necessidades de cada empresa individual, a fim de ajudá-los a dominar a transformação digital em todas as unidades de negócios relevantes envolvidas.

(Continuação)

10	Gökalp; Umut; Erha, (2017)	<i>Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM</i>	Objetivo de identificar os estudos existentes relacionados aos MMs propostos no contexto da Indústria 4.0	58	Quantitativo e benchmarking	5 dimensões: 1 - alinhamento organizacional; 2 - transformação do processo; 3 - gerenciamento de aplicativos; 4 - governança de dados; 5 - gestão de ativos. 6 níveis: (1) otimizando; (2) previsível; (3) estabelecido; (4) gerenciado (5) realizado; (6) incompleto.	Consequentemente, a Indústria 4.0-MM fornece padronização em benchmarking contínuo e melhoria de negócios na indústria de manufatura e orienta as empresas no sentido de atingir um estágio de maior maturidade, a fim de maximizar os benefícios econômicos da Indústria 4.0.
11	De Carolis et al., (2017)	<i>Guiding Manufacturing Companies Towards Digitalization</i>	Objetivo é orientar empresas para o processo de transformação, um modelo de maturidade, denominado DREAMY (Modelo de maturidade de avaliação de prontidão digital) e com base em princípios inspiradores do CMMI ( <i>Capability Maturity Model Integratd</i> ).	65	Quantitativo em 3 casos: caso A, empresa de alimentos; caso B, empresa setor metalmeccânico; caso C, empresa no setor de energia elétrica.	4 dimensões: 1 - organização; 2 - tecnologia; 3 - monitoramento e controle; 4 – processo. 5 níveis: (1) orientado para digital; (2) integrado e interoperabilidade; (3) definido; (4) gerenciado; (5) inicial.	Dois resultados principais foram alcançados com as aplicações de a metodologia proposta. Por um lado, o analisado empresas de manufatura foram "orientadas" para compreensão de sua prontidão digital e a identificação das principais oportunidades que podem explorar a partir do processo de digitalização.
12	Ganzarain e Errasti, (2016)	<i>Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0</i>	Objetivo é apoiar e sustentar empresas para serem capazes de identificar novas oportunidades para diversificação em áreas dentro da Indústria 4.0.	145	Quantitativo aplicado em uma cidade do país Basco	4 dimensões: 1 - produto; 2 - rede de valor; 3 – processo; 4 - mercado. 5 níveis: (1) detalhado; (2) transformar; (3) definido; (4) gerenciado (5) inicial.	O <i>roadmapping</i> permite desenhar estratégias e restrições em camadas separadas contra uma linha do tempo comum. Existem quatro perspectivas estratégicas: mercado, produto, processo, e rede de valor.

(Continuação)

13	Jung <i>et al.</i> , (2016)	<i>An Overview of a Smart Manufacturing System Readiness Assessment</i>	Desenvolver um método para avaliar a prontidão de uma fábrica para incorporar tecnologias emergentes de TIC para se tornar uma fábrica inteligente. Proposta com base no índice SMSRL.	29	Quantitativo a partir de cálculos de matrizes e índices. Testes de correlação.	3 dimensões: 1 - tecnologia da informação; 2 - conectividade de informação; 3 - organizacional. Cálculo de índice de SMSRA.	Avaliação de prontidão do sistema de manufatura inteligente (SMSRL). SMSRL mede a prontidão usando pontuação de maturidade das dimensões: maturidade organizacional, TI, gerenciamento de desempenho e conectividade de informações. O cerne do conceito de manufatura inteligente é a capacidade de usar as informações de maneira eficaz. A avaliação SMSRL fornece uma medida quantitativa dessa capacidade.
14	Schumacher; Erol; Sihn, (2016)	<i>A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises</i>	Propor um novo modelo empiricamente fundamentado e sua implementação para avaliar a maturidade da Indústria 4.0 de empresas industriais no domínio da manufatura discreta.	523	Quantitativo e qualitativo. Entrevistas semiestruturadas com profissionais e pesquisadores. Revisão sistemática de literatura com 72 MM.	9 dimensões: 1 – liderança; 2 – pessoas; 3 - tecnologia; 4 - estratégia; 5 - produtos; 6 - governança; 7 - clientes; 8 – cultura; 9 - operações. 5 níveis: de (1) total falta de atributos a (5) estado da arte necessário de atributos.	Do ponto de vista científico, foi desenvolvido um modelo de maturidade para a Indústria 4.0. Este modelo conceitual permite coletar dados sobre o estado de desenvolvimento de empresas de manufatura em diferentes setores e para identificar fatores de sucesso adicionais para a Indústria 4.0 .
15	Linchtblau <i>et al.</i> , (2015)	<i>IMPULS-Industrie 4.0-Readiness, Impuls-Stiftung des VDMA</i>	Modelo de prontidão para estratégias das organizações no contexto da I4.0	5	Quantitativo. Revisão da literatura. Workshops. Empresas da associação VDMA da Alemanha.	6 níveis: 1- estratégia; 2 - produtos inteligentes; 3 - operações inteligentes; 4 - fábrica inteligente; 5 - funcionários; 6 - serviços baseados em dados. 6 níveis de maturidade: (1) executante, (2) especialista, (3) experiente,(4) intermediário, (5) iniciante e (6) estranho.	Para o estabelecimento de conceitos da Indústria 4.0 especialistas bem treinados são necessários. A escassez de mão de obra qualificada atinge principalmente as empresas de médio porte, para as quais é cada vez mais difícil encontrar pesquisadores e especialistas altamente qualificados no contexto alemão.

(Final)

16	Halper; Krish. (2014)	<i>TDWI big data maturity model guide: interpreting your assessment score. TDWI Benchmark Guide,</i>	Quantificar a maturidade e sua implantação e entenda seu progresso e identifique o que será necessário para chegar ao próximo nível de maturidade aplicado a <i>BIGDATA</i>	54	Quantitativo estudo aplicado em 4 empresas: Cloudera, IBM, MarkLogic e Pentaho.	5 dimensões: 1 – organização; 2 – infraestrutura; 3 – gestão de dados; 4 – análise; 5 – governança. 5 níveis: (1) pré-adoção; (2) adoção antecipada; (3) adoção corporativa; (4) maduro; (5) visionário.	Ajudar a criar estrutura em torno de um programa de big data e determinar por onde começar.
17	Newman; Logan, (2008)	<i>Gartner Introduces the EIM Maturity Mode</i>	Modelo de maturidade para ajudar os líderes de TI alinhar seus esforços para educar a alta administração. apontar os pontos fracos da organização para alinhamento das ações	35	Quantitativo	3 dimensões. 1 – Imaturo; 2 – maduro; 3 – sofisticado. 6 níveis: (1) inconsciente; (2) consciente; (3) reativo; (4) proativo; (5) gerenciado; (6) efetivo.	Avaliação de maturidade para diversas aplicações em TI e TICs.

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

**APENDICE “E” - REVISÃO INTEGRATIVA DE LITERATURA SOBRE STAGE-GATE E  
INDUSTRIA 4.0**

Quadro 15 - Resumo dos artigos para revisão integrativa de literatura com os termos “*Stage-gate*” e “indústria 4.0”.

(Continua)

	<b>Autor/Ano</b>	<b>Artigo</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Estudos futuros</b>
1	Cameron <i>et al.</i> , (2022)	<i>The Digital Design Basis. Demonstrating a framework to reduce costs and improve quality in early-phase design</i>	Desenvolveram e demonstraram uma representação de modelo digital comum das informações em bases de projeto de fase inicial para desenvolvimentos de campos de petróleo e gás	Quantitativo com modelagem computacional <i>Reference Designation System (RDS)</i>	Industria de óleo e gás.	Não apresentou
2	Tsang <i>et al.</i> , (2022)	<i>Unlocking the power of big data analytics in new product development: An intelligent product design framework in the furniture industry</i>	Foi feita uma estrutura de design de produto inteligente é proposta para incorporar a mineração de regras de associação fuzzy (FARM) e um algoritmo genético (GA) em um sistema de inferência fuzzy baseado em regras de associação recursiva para preencher a lacuna entre os atributos do cliente e os parâmetros de design	Quantitativo com modelagem matemática	Indústria moveleira	Framework proposto pode ser aplicado a outras indústrias que requerem um processo de NPD inteligente para entregar novos produtos e serviços, utilizando grandes quantidades de dados históricos. Com a consideração da big data industrial, a Personalização da inovação de produtos e serviços pode ser mais explorada em outros negócios de manufatura e serviços



(Continuação)

3	Lizbeth; Reyes; Toorajipour, (2022)	<i>Mapping a circular business opportunity in electric vehicle battery value chain: A multi-stakeholder framework to create a win-win-win situation</i>	Propor uma estrutura que possa apoiar as partes interessadas na cadeia de valor da bateria EV para identificar e mapear oportunidades de negócios circulares e valor multidirecional entre as partes interessadas, a fim de criar uma situação ganha-ganha no processo de criação de valor.	Revisão de literatura	Indústria de fabricação de baterias	Pesquisas futuras podem desenvolver e validar ainda mais o modelo em diferentes setores industriais para entender melhor a aplicabilidade e adequação da estrutura, adotando diferentes abordagens de pesquisa, como estudos de caso, grupos focais, pesquisa de ação participativa, e pesquisa etnográfica. Além disso, mais pesquisas são necessárias para examinar as correlações entre as configurações de múltiplas partes interessadas (empresa, ecossistema, sociedade) e a aplicabilidade do processo CBMI dentro delas. Estudos futuros devem considerar como a digitalização, os recursos digitais, a indústria 4.0 e as tecnologias digitais podem ajudar na identificação e desenvolvimento de modelos de negócios de segunda vida (ou circulares) na cadeia de valor de baterias de veículos elétricos.
4	Estensoro <i>et al.</i> , (2021)	<i>A resource-based view on SMEs regarding the transition to more sophisticated stages of industry 4.0</i>	Adotar uma visão baseada em recursos para uma melhor compreensão das etapas de implementação e os respectivos recursos atuando como condições em cada etapa, respondendo à seguinte questão de pesquisa: Quais são os recursos necessários que explicam a transição entre os estágios de desenvolvimento da Indústria 4.0 nas PMEs manufatureiras	Método misto “quantitativo e qualitativo”	Pequenas e médias empresas	Monitorar o desenvolvimento da maturidade da indústria 4.0 e fazer estudos comparativos entre regiões. Em suma, este artigo contribui para uma melhor compreensão de como diferentes recursos servem para desenvolver vantagem competitiva sustentável para PMEs, diferenciadas em quatro diferentes estágios de desenvolvimento em direção à Indústria 4.0

(Continuação)

5	Almeida; Amaral; Coelho, (2021)	<i>Innovative Framework to manage New Product Development (NPD) Integrating Additive Manufacturing (AM) and Agile Management</i>	Propõe um framework inovador para gerenciar NPD com AM, incorporando APM visando produtos inovadores, envolvimento do cliente e obtenção com sucesso de um produto mais rápido que as rotas convencionais	Revisão sistemática de literatura	Indústria de manufatura em geral	Usar o desenvolvimento de novos produtos por meio da impressão 3D e gerenciamento de projetos ágeis em outros ramos industriais como agrícola, rodoviário, espacial.
6	Permin <i>et al.</i> , (2021)	<i>Creating digital products in engineering companies – a practitioner’s review</i>	Revisa os frameworks existentes, métodos e abordagens para o desenvolvimento de produtos digitais e discute as diferenças e semelhanças de requisitos e condições de contorno na área de máquinas e equipamentos	Revisão teórica	Indústrias de máquinas e equipamentos	Não apresentou
7	Zaverzhenets; Łobacz, (2021)	<i>Digitalising and visualising innovation process: comparative analysis of digital tools supporting innovation process in SMEs</i>	O objetivo deste artigo é explorar 20 plataformas de gestão da inovação no contexto de seu alinhamento com a complexidade e a natureza difusa do processo de inovação que é típico para pequenas empresas em desenvolvimento.	Qualitativo	Pequenas e médias empresas	Não apresentou

(Continuação)

8	Beer e Depew, (2021)	<i>The role of process engineering in the digital transformation</i>	O objetivo deste artigo é fornecer uma visão geral dos obstáculos à Transformação Digital para a disciplina de processos e explicar como eles podem ser superados. Uma ênfase especial será dada ao papel da ferramenta de simulação de processos (modelagem de caixa.	Modelagem computacional “Simulação”	Indústria química	Não apresentou
9	Gabriel <i>et al.</i> , (2021)	<i>Integration of agile practices in the product development process of intelligent technical systems</i>	Este artigo descreve uma análise aprofundada das práticas ágeis, os componentes dos métodos ágeis, a fim de avaliar a proposta de valor das práticas ágeis e permitir a integração das práticas ágeis em um processo de desenvolvimento híbrido. O	Revisão teórica	Organizações que aplicam desenvolvimento de produtos em geral	Há necessidade de mais pesquisas em particular sobre as interações entre essas práticas ágeis e clássicas. Por exemplo, é concebível que algumas combinações de práticas sejam mutuamente exclusivas ou que outras combinações se complementam particularmente bem. A pesquisa aprofundada neste campo pode fornecer suporte adicional para a implementação de processos de desenvolvimento de produtos híbridos e a integração de práticas ágeis, bem como os conceitos principais ágeis correspondentes no desenvolvimento de produtos de sistemas técnicos inteligentes.
10	Hansen <i>et al.</i> , (2021)	<i>Design and development of Automation Equipment based on Digital Twins and Virtual Commissioning</i>	Apresenta uma abordagem estruturada para combinar modelagem digital, simulação e comissionamento virtual antes da implementação física. O projeto está em colaboração com a Siemens PLM/Factory Automation e um fabricante de máquinas como um caso prático de negócios	Modelagem computacional “Simulação”	Indústria metalúrgica	Não apresentou

(Continuação)

11	Ripi e Vaibhav, (2021)	<i>Human Factors in NDE 4.0 Development Decisions</i>	O artigo examina a aplicação potencial do processo Stage-gate nos desenvolvimentos da NDE 4.0. Este artigo também explora os fatores que tornam um processo de gate-gate bem-sucedido e como os vieses afetam os resultados das revisões do gate. Ele explora quais vieses são problemáticos e como podemos desvirtuar nossa própria interpretação deles por meio da percepção consciente e repensar o Processo <i>Stage-gate</i> . Também discute como criar um ambiente onde os preconceitos são minimizados ou eliminados	Modelagem computacional “IA e dados qualitativos”	Organizações que aplicam desenvolvimento de produtos em geral	Não encontrado
12	Boffelli <i>et al.</i> , (2020)	<i>Open the box: A behavioural perspective on the reshoring decision-making and implementation process</i>	O objetivo deste trabalho é esclarecer como as empresas tomam decisões de <i>reshoring</i> e as implementam, destacando as principais fases, as informações coletadas, os atores envolvidos e as principais críticas enfrentadas em cada fase	Qualitativo de múltiplos casos	Indústrias têxteis de couro e calçado	Primeiramente, como um é estudo exploratório, a abordagem de estudo de caso foi selecionada como método de pesquisa. Portanto, apesar de tentarmos garantir uma generalização teórica adotando um desenho de pesquisa rigoroso, nossos resultados não podem ser generalizados estatisticamente. Futuramente, estudos quantitativos (por exemplo, <i>surveys</i> ) poderão ajudar a superar essa limitação e testar empiricamente as proposições desenvolvidas em nosso estudo

(Continuação)

13	Ahmed; Sanen; Edward, (2019)	<i>Smart Virtual Product Development (SVPD) to Enhance Product Manufacturing in Industry 4.0</i>	Este trabalho apresenta um sistema capaz de aprimorar o processo de desenvolvimento de produtos industrializados. O sistema é conhecido como <i>Smart Virtual Product Development (SVPD)</i> e auxilia na tomada de decisões por meio do conhecimento explícito de eventos formais de decisão	Modelagem computacional “Simulação”	Organizações que aplicam desenvolvimento de produtos em geral	O Sistema SVPD se comporta como um grupo de especialistas, pois captura, armazena, mantém e utiliza o conhecimento experimental de todos os produtos similares. Trabalhos futuros incluem a extensão do sistema SVPD para explicar as variáveis importantes envolvidas no funcionamento do módulo de planejamento de inspeção de produtos (PIP)
14	Richter <i>et al.</i> , (2019)	<i>Identification of requirements of methods and processes for modeling objectives in predevelopment projects</i>	A pesquisa identifica requisitos para métodos e processos para modelar objetivos em projetos de pré-desenvolvimento. Com base nisso, os requisitos identificados são avaliados quanto à sua importância.	Revisão sistemática da literatura	Organizações que aplicam desenvolvimento de produtos em geral	Não apresentou
15	Bluher <i>et al.</i> , (2019)	<i>Research opportunities in PSS design focusing on the potentials of agile approaches</i>	Se as abordagens ágeis podem beneficiar os modelos de design PSS. Sistemas Produto-Serviço (PSS) são ofertas que combinam produto, serviço e, em alguns casos, funcionalidades de internet das coisas (IoT) para uma proposta de valor uniforme.	Qualitativo com 14 pesquisadores	Organizações que aplicam desenvolvimento de produtos em geral	Para estudos futuros os principais tópicos para desenvolver o processo de PSS ágil são: (RT1.1) Busca de modelos e métodos práticos para ciclos de desenvolvimento integrados; (RT1.2) Sistemas de configuração e gerenciamento de dados de produtos para ciclos integrados de serviço, software e design de produto; (RT1.3)

(Continuação)

16	Barbosa e Saisse, (2019)	<i>Hybrid project management for sociotechnical digital transformation context</i>	Desenvolveram uma Estrutura Conceitual (CF) para apoiar a implementação de DT em Indústrias de Manufatura Discreta (DMI). O FC aplica a gestão do conhecimento, gestão de projetos híbridos (HPM) e valores sociotécnicos para implementar a DT, usando o Desenvolvimento de Novos Produtos (DNP) como base.	Revisão sistemática da literatura	Organizações que aplicam desenvolvimento de produtos em geral	Os acadêmicos devem explorar a proposta do PSD em futuras pesquisas empíricas, enquanto os gestores podem tomá-la como referência para a Transformação Digital Sociotécnica
17	Albers <i>et al.</i> , (2019)	<i>A systematic approach to situation-adequate mechatronic system development by ASD - Agile Systems Design</i>	Apresentar uma contribuição são derivados princípios da literatura que auxiliam os desenvolvedores em suas atividades no desenvolvimento de sistemas mecatrônicos	Revisão sistemática da literatura	Empresas de desenvolvimento mecatrônico	Trabalhos futuros devem garantir a aplicabilidade da abordagem. Além disso, não foram atribuídas neste artigo práticas de apoio à operacionalização dos princípios A área de aplicação da abordagem é o desenvolvimento de sistemas mecatrônicos. Assim, não visa processos reativos no contexto de desenvolvimento de <i>software</i> ou indústrias altamente regulamentadas e pesadas, como engenharia mecânica para fins especiais. Como a abordagem é apenas uma estrutura e não há suporte metodológico para implementação, atualmente não é possível coordenar um projeto por meio da abordagem sem o apoio de especialistas. Este conceito introdutório também será objeto de trabalhos futuros.

(Continuação)

18	Belladi <i>et al.</i> , (2019)	<i>Understanding Big Data Analytics for Manufacturing Processes: Insights from Literature Review and Multiple Case Studies</i>	O objetivo central deste artigo é desenvolver um novo modelo que resuma as principais capacidades do BDA no contexto do processo de fabricação. Isso é realizado com base nas descobertas de uma revisão da pesquisa em andamento, juntamente com vários estudos de caso em um fabricante líder de derivados de fosfato para apontar as capacidades do BDA nos processos de fabricação e delinear recomendações para avançar na pesquisa no campo.	Revisão sistemática da literatura	Indústrias	Futuras pesquisas podem ser realizadas sobre os seguintes aspectos. Em primeiro lugar, a avaliação do impacto das capacidades do BDA no desempenho da manufatura com método de análise quantitativa baseado em dados primários deve ser realizada por meio de estudos empíricos mais aprofundados. Além disso, a infraestrutura facilitadora de BDA deve ser explorada em contextos específicos, como PMEs e empresas de serviços. Vale a pena notar que a pesquisa sobre BDA no processo de fabricação, e o estudo teórico correspondente, está apenas começando, como resultado, há muito trabalho a ser feito impulsionado pelos requisitos de aplicação e tecnologias relacionadas antes que o BDA seja construído com sucesso no processo de fabricação
19	Harari; Fundin, Carlsson, (2018)	<i>Components of the Design Process of Flexible and Reconfigurable Assembly Systems</i>	O objetivo deste artigo é construir uma visão comum inicial dos componentes a serem usados no processo de projeto de sistemas de montagem flexíveis e reconfiguráveis para sustentar uma visão holística.	Revisão sistemática da literatura	Indústrias	Não apresentou

(Continuação)

20	Chirumalla <i>et al.</i> , (2018)	<i>Exploring feedback loops in the industrialization process: A case study</i>	O objetivo deste artigo é explorar as práticas atuais disponíveis de feedback loops em diferentes fases do processo de industrialização	Qualitativo “entrevistas”	Indústria ferroviária	Estudos futuros devem considerar estudar os ciclos de feedback a partir de uma perspectiva de “tecnomudança”, que poderia permitir o uso de TI para impulsionar e avaliar melhorias no desempenho organizacional. A próxima fase do trabalho se concentrará em melhorar alguns ciclos de feedback significativos na empresa caso de acordo com as seis etapas propostas.
21	Wlzlaka <i>et al.</i> , (2018)	<i>Integration of Suppliers' Workflows in the OEMs' New Product Development Process</i>	Este artigo apresenta uma perspectiva de processo para explorar a integração dos fluxos de trabalho dos fornecedores no processo de NPD do OEM, para apoiar o ramp-up da produção	Qualitativo “Entrevistas”	Empresa de Outdoor	O artigo pode explorar mais os aspectos de prontidão do fornecedor em um trabalho futuro
22	Deuetr <i>et al.</i> , (2018)	<i>Developing the Requirements of a PLM/ALM Integration: An Industrial Case Study</i>	Este artigo explica esse processo em detalhes. Uma abordagem geralmente aplicável para desenvolver os requisitos de uma integração PLM/ALM são extraídos removendo os fatores específicos da empresa.	Qualitativo “estudo de caso”	Empresa de automação	Não apresentou



(Final)

23	Krdeve; Hidenbrand; Jonsson, (2018)	<i>Design for green lean building module production - Case study</i>	O objetivo deste artigo é avaliar uma abordagem de design verde e enxuta em relação ao seu propósito de reduzir os impactos ambientais de produtos, serviços e produção como um todo, sem comprometer a funcionalidade econômica e social e a sustentabilidade.	Qualitativo	Universidade	Não apresentou
24	Schuha e Kuhlmann, (2017)	<i>Highly Iterative Product Development Within The Tool And Die Making Industry</i>	O artigo explicará especialmente o trabalho no Laboratório de Máquinas-Ferramenta e Engenharia de Produção (WZL) da RWTH Aachen University de criar uma abordagem de como a indústria de ferramentas e matrizes pode acompanhar o desenvolvimento de produtos.	Revisão teórica	Ferramentarias	Não apresentou
25	Flascher e Riel, (2016)	<i>Stakeholder integration for the successful product-process co-design for next-generation manufacturing technologies</i>	O objetivo principal é encontrar e analisar maneiras de integrar diferentes ofícios em workshops de design voltados para o planejamento estratégico de longo prazo, o investimento em abordagens para integrar os departamentos de design, fabricação e compras para alavancar os potenciais da Indústria 4.0	Qualitativo “Estudo de caso”	Indústria	Não apresentou

## APENDICE “F” – QUESTIONÁRIO QUANTITATIVO 2 DE PESQUISA

As informações coletadas através destes questionários irão compor um projeto de tese, cujo intuito é gerar conhecimentos no âmbito acadêmico e profissional. O questionário não se faz obrigatório sendo assim, você pode optar por contribuir ou não para tal. Suas respostas são de extrema importância para a pesquisa, por isso optamos por tal pesquisa ser anônima, sendo assim sinta-se à vontade para expressar a sua opinião.

Ao responder o questionário, considere as seguintes orientações:

- I. Marque apenas uma resposta para cada questão;
- II. Marque a resposta que naturalmente ocorrer em sua mente;
- III. Não deixe de responder nenhuma pergunta;
- IV. Ao finalizar suas respostas, verifique se todas as perguntas foram respondidas.

### Quadro 9 – Instrumento de coleta

**BLOCO 1** – Dados demográficos, serão solicitadas algumas perguntas básicas sobre você e a empresa.

<p><b>1. Gênero:</b>  <input type="checkbox"/> Masculino <input type="checkbox"/> Feminino</p>	<p><b>4. Qual seu grau de escolaridade?</b>  <input type="checkbox"/> Fundamental incompleto  <input type="checkbox"/> Fundamental completo  <input type="checkbox"/> Médio incompleto  <input type="checkbox"/> Médio completo  <input type="checkbox"/> Superior incompleto  <input type="checkbox"/> Superior completo  <input type="checkbox"/> Pós-graduação incompleta  <input type="checkbox"/> Pós-graduação completa</p>
<p><b>2. Em qual área da empresa você trabalha?</b>  <input type="checkbox"/> Administrativo <input type="checkbox"/> Produção <input type="checkbox"/> Engenharia <input type="checkbox"/> TI  <input type="checkbox"/> Qualidade <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Outros: Qual? _____</p>	<p><b>5. Há quanto tempo você trabalha na empresa?</b>  <input type="checkbox"/> 1 a 5 anos      <input type="checkbox"/> 5 a 10 anos  <input type="checkbox"/> 10 a 15 anos    <input type="checkbox"/> 15 a 20 anos  <input type="checkbox"/> 20 a 25 anos    <input type="checkbox"/> 25 a 30 anos  <input type="checkbox"/> mais que 30 anos</p>
<p><b>3. Idade:</b>  <input type="checkbox"/> menos de 20 anos  <input type="checkbox"/> de 20 a 30 anos  <input type="checkbox"/> de 30 a 40 anos  <input type="checkbox"/> de 40 a 50 anos  <input type="checkbox"/> acima de 50 anos</p>	<p><b>7 Localização</b>   <b>Estado:</b> _____   <b>Cidade:</b> _____</p>
<p><b>6. Ramo da empresa</b>   <input type="checkbox"/> Automobilística      <input type="checkbox"/> Eletrônica  <input type="checkbox"/> Farmacêutica          <input type="checkbox"/> Química  <input type="checkbox"/> Transformação        <input type="checkbox"/> Petrolífera  <input type="checkbox"/> Aeroespacial          <input type="checkbox"/> Energética  <input type="checkbox"/> Metalmeccânica      <input type="checkbox"/> Alimentícia  <input type="checkbox"/> Textil                    <input type="checkbox"/> Construção civil  <input type="checkbox"/> Tecnologia            <input type="checkbox"/> Automação  <input type="checkbox"/> Outros: Qual? _____</p>	

<b>8. Número de colaboradores</b>  <input type="checkbox"/> 0 a 50 <input type="checkbox"/> 50 a 200 <input type="checkbox"/> 201 a 500 <input type="checkbox"/> 501 a 1000 <input type="checkbox"/> Mais de 1000	<b>9. Cargo que ocupa na empresa</b> <input type="checkbox"/> Proprietário / CEO <input type="checkbox"/> Diretor <input type="checkbox"/> Gerente <input type="checkbox"/> Analista <input type="checkbox"/> Supervisor <input type="checkbox"/> Líder <input type="checkbox"/> Colaborador <input type="checkbox"/> Outros: Qual? _____
---	---

**BLOCO 2** – A indústria 4.0 é um modelo parcialmente novo, pois apresenta características tecnológicas inovadoras, no entanto algumas tecnologias deste novo modelo já existiam anteriormente nas empresas, qual a importância para sua empresa na adoção das tecnologias habilitadoras da I4.0.

	1 Não há importância	2 Pouco importante	3 Razoavelmente importante	4 Importante	5 Muito importante
<b>Q10</b>	Realidade aumentada				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q11</b>	Segurança da informação.				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q12</b>	Internet das coisas (IOT)				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q13</b>	Computação em nuvem				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q14</b>	Sistemas integrados				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q15</b>	Manufatura aditiva				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q16</b>	Simulações				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q17</b>	Robôs autônomos				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q18</b>	Big data				[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q19</b>	Gêmeos digitais				[1] [2] [3] [4] [5]

**BLOCO 3** – Nível utilitário das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e aplicações

	1 Pré-Adoção despreparado	2 Adoção planejamento e escopo	3 Experimental e consciente	4 Executante e proativo	5 Adaptabilidade e referência
<b>Q21</b>	<b>Realidade aumentada</b>				[1] [2] [3] [4] [5]
	20.1 Treinamento				[1] [2] [3] [4] [5]
	20.2 Manutenção				[1] [2] [3] [4] [5]
	20.3 Controle de qualidade				[1] [2] [3] [4] [5]
	20.4 Projetos				[1] [2] [3] [4] [5]
	20.5 Processos				[1] [2] [3] [4] [5]
	<b>Segurança da informação.</b>				[1] [2] [3] [4] [5]
	21.1 Criptografia				[1] [2] [3] [4] [5]
	21.2 Firewalls				[1] [2] [3] [4] [5]
	21.3 Antivírus				[1] [2] [3] [4] [5]

	21.4 Gestão de identidade e acesso 21.5 Análise de segurança em tempo real	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q22</b>	<b>Internet das coisas (IOT)</b> 22.1 Redes de sensores sem fio 22.2 Bluetooth 22.3 Wi-Fi 22.4 Protocolo de Comunicação MQTT 22.5 Tecnologia RFID	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q23</b>	<b>Computação em nuvem</b> 23.1 Armazenamento 23.2 Infraestrutura como serviço (IaaS) 23.3 Plataforma como serviço (PaaS) 23.4 Software como serviço (SaaS) 23.5 Computação sem servidor (serverless)	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q24</b>	<b>Sistemas integrados</b> 24.1 ERP (Enterprise Resource Planning) 24.2 SCM (Supply Chain Management) 24.3 CRM (Customer Relationship Management) 24.4 MES (Manufacturing Execution System) 24.5 Sistemas de gestão de projetos	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q25</b>	<b>Manufatura aditiva</b> 25.1 Prototipagem 25.2 Fabricação de modelos e moldes para fabricação 25.3 Impressão de peças de reposição para equipamentos e máquinas 25.4 Impressão de peças complexas e componentes estruturais 25.5 Impressão de modelos arquitetônicos	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q26</b>	<b>Simulações</b> 26.1 CAD (Projeto e desenho assistidos por computador) 26.2 CAM (Manufatura assistida por computador) 26.3 Ansys 26.4 Arena 26.5 FlexSim	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q27</b>	<b>Robôs autônomos</b> 27.1 Robôs colaborativos móveis 27.2 Robôs colaborativos de carga pesada 27.3 Robôs colaborativos de montagem 27.4 Robôs colaborativos fixos 27.5 Robôs colaborativos de inspeção	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q28</b>	<b>Big data</b> 28.1 Hadoop 28.2 Spark 28.3 NoSQL 28.4 MapReduce 28.5 Elasticsearch	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q29</b>	<b>Gêmeos digitais</b> 29.1 Processo de produção 29.2 Previsão de falhas 29.3 Manutenção preventiva 29.4 Previsão de desgastes de peças 29.5 Modelos virtuais de produtos	[1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5] [1] [2] [3] [4] [5]

**BLOCO 4 – Fale sobre o processo de desenvolvimento de produto na sua empresa**

1 - Nunca	2 - Em minoria de vezes	3- Às vezes	4 - Maior parte do tempo	5 - Sempre
<b>Q30</b>	Você tem um modelo de referência para o processo de desenvolvimento de produto?			[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q31</b>	Os clientes estão satisfeitos com o desempenho dos produtos da empresa?			[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q32</b>	Os produtos são lançados nos prazos?			[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q33</b>	A empresa desenvolve as capacidades técnicas de cada profissional de desenvolvimento de produto favorecendo o aprimoramento e aprofundamento em suas áreas?			[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q34</b>	A integração entre as áreas: comercial, manufatura, engenharia, qualidade e a área de desenvolvimento de produtos é alta?			[1] [2] [3] [4] [5]
<b>Q35</b>	Quais das seguintes funcionalidades estão presentes nos seus produtos? Q37. 1 <b>Descritiva</b> - Captura dados das condições do produto, ambiente e operações. Q37. 2 <b>Diagnóstico</b> - Examina as causas de falhas e redução de desempenho. Q37. 3 <b>Preditiva</b> - Detecta eventos que podem causar falhas. Q37. 4 <b>Prescritiva</b> - Identifica ações para melhoria do desempenho ou correção de falhas.			[ ] [ ] [ ] [ ]

## APÊNDICE “G” – PROTOCOLO DA FASE QUALITATIVA DE AVALIAÇÃO DO ARTEFATO

### 1. VISÃO GERAL DO ESTUDO

Acadêmico: Luis Fernando Moreira

Orientador: Professor Doutor Gabriel Vidor

Objetivo geral do estudo: Desenvolver um modelo de produto/serviço *Smart* aplicando o método *Stage-gate*.

### 2. ATIVIDADES COMPLEMENTARES

- a) Revisão de literatura: além dos levantamentos já realizados nas revisões de literatura, durante a elaboração do projeto de tese verificar-se-á a publicação de novas pesquisas sobre os temas pertinentes ao estudo.

### 3. COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para a realização desta etapa, deverão ser desenvolvidas as seguintes atividades:

- a) contato inicial com participantes da pesquisa, solicitando informações (nome, telefone, e-mail) a respeito dos profissionais responsáveis pela área de pesquisa e empresas interessadas;
- b) realização de novo contato com os participantes da pesquisa, explicitando os objetivos do estudo e a sua forma de condução;
- c) após a definição dos pesquisados, proceder com o agendamento das entrevistas;
- d) estruturação do roteiro detalhado para as entrevistas;
- e) realização das entrevistas;
- f) análise dos documentos relacionados à organização e que tratam das temáticas deste estudo, tais como relatórios, publicações em revistas, jornais e sites e outros materiais que sejam pertinentes;
- g) transcrição das entrevistas;
- h) realização das análises dos dados, com base na análise de conteúdo e com o apoio do *software QDA*.
- i) execução da comparação entre as abordagens teóricas, fase quantitativa e os resultados evidenciados;

## APENDICE “H” INSTRUMENTO DE PESQUISA PARA AVALIAÇÃO QUALITATIVA DO ARTEFATO

Caracterização do respondente:

Data da entrevista: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Local da entrevista:\_\_\_\_\_.

Instituição ou empresa:\_\_\_\_\_.

*Stakeholder* ou pesquisador:\_\_\_\_\_.

Area de atuação:\_\_\_\_\_.

Tempo de atuação:\_\_\_\_\_.

E-mail:\_\_\_\_\_.

**Com relação às perguntas considere o “artefato” apresentado como resultado desta pesquisa científica:**

1. O artefato pode ser utilizado em um cenário real de desenvolvimento?
2. O artefato apresenta clareza na apresentação dos elementos sobre o *EXPDP*?
3. O artefato articula de forma satisfatória o caráter teórico e prático de pesquisa?
4. O artefato pode contribuir para evidenciar o rigor, relevância e contribuição para pesquisa acadêmica e a prática do mercado?
5. O artefato pode contribuir para evidenciar o rigor, relevância e contribuição para o desenvolvimento de um produto/serviço?