



Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção



A importância dos *softwares* de simulação dentro da indústria 4.0: Uma
análise da inserção do *Digital Twin* nos contextos industriais

Airton Antunes de Oliveira Junior

Ouro Preto - MG

Março/2023

Airton Antunes de Oliveira Junior

A importância dos *softwares* de simulação dentro da indústria 4.0: Uma análise da inserção do *Digital Twin* nos contextos industriais

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Engenheiro de Produção.

Orientadora: Profa. Dra. Irce Fernandes Gomes Guimarães

Ouro Preto - MG

Março/2023



FOLHA DE APROVAÇÃO

Airton Antunes de Oliveira Junior

A importância dos softwares de simulação dentro da indústria 4.0: Uma análise da inserção do *Digital Twin* nos contextos industriais

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 29 de março de 2023

Membros da banca

Dr^a. Irce Fernandes Gomes Guimarães - Orientadora - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Dr. Aloisio de Castro Gomes Junior - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP
Dr. Helton Cristiano Gomes - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

Dr^a. Irce Fernandes Gomes Guimarães, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/04/2023



Documento assinado eletronicamente por **Irce Fernandes Gomes Guimaraes, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/04/2023, às 17:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0503449** e o código CRC **0BDA1DDF**.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus.

Ao meu pai meu anjo da guarda por me guiar lá de cima e minha mãe, minha leoa e referência por ter acreditado em mim.

À minha orientadora professora Dra. Irce Fernandes Gomes Guimarães, por aceitar conduzir o meu trabalho de pesquisa.

A todos os meus professores do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto, que contribuíram para minha formação.

Aos irmãos da República Consulado.

À Universidade Federal de Ouro Preto e Escola de Minas pelo ensino público de qualidade.

Aos amigos de curso e 15.2 pelos momentos marcantes.

RESUMO

Tendo em vista o atual cenário capitalista, cada vez mais concorrido, e a busca cada vez maior das melhorias e otimizações de processos industriais, as organizações industriais atentaram para a grande necessidade de investirem na implementação de soluções tecnológicas de alto nível. Para tal fim, a chamada Indústria 4.0 (I 4.0), trouxe consigo um leque de opções disponíveis que são totalmente interligadas oferecendo à corporação alternativas no que diz respeito a melhoria de desempenho e a solidez de mercado. Neste contexto, a simulação, um dos pilares da I4.0, tem o papel de oferecer ao tomador de decisão a possibilidade de analisar diversos cenários distintos, cabendo a este profissional, optar por aquele de melhor interesse as necessidades organizacionais. Dessa forma, este estudo apresenta os resultados de uma análise do uso da simulação, mais precisamente o *Digital Twin* nos contextos industriais atendendo ao objetivo de analisar a importância dos *softwares* de simulação dentro da indústria 4.0, enfatizando sua aplicabilidade e seus principais benefícios dentro das organizações que já inseriram essa nova metodologia. A análise desta pesquisa é orientada por três métodos científicos: revisão de literatura, revisão bibliométrica e aplicação de questionário. As principais informações geradas a partir deste estudo é a necessidade de se investir em recursos de alta tecnologia para que seja possível otimizar o processo e fazer com que tudo esteja inteiramente interligado: máquinas, sensores, operadores, *softwares*, tomadores de decisão, dentre outros, se adaptando às condições atuais e se enquadrando nas chamadas smart factories. Também foi destacado que é primordial investir em atualizações de sistema, material de trabalho e aperfeiçoamento de mão de obra.

Palavras chave: Simulação, Indústria 4,0, *Digital Twin*, *Software*

ABSTRACT

Given the current capitalist scenario, increasingly crowded, and the increasing search for improvements and optimizations of industrial processes, industrial organizations have paid attention to the great need to invest in the implementation of high-level technological solutions. To this end, the so called industry 4.0 (I 4.0), brought with it a range of available options that are fully interconnect offering the corporation alternatives with regard to performance improvement and market solidity. In this context, simulation, one of the pillars of I4.0, has the role of offering the decision maker the possibility of analyzing several different scenarios, and it is up to this professional to choose the one of the best interest to organizational needs. Thus, this study presents the results of analysis of the use of simulation, more precisely the Digital Twin in industrial contexts given the objective of analyzing the importance of simulation software within industry 4.0, its applicability and its main benefits within the organizations that have already inserted this new methodology. The analysis of this research is guided by three scientific methods: literature review, bibliometric review and questionnaire application. The main information generated, from this study is the need to invest in high technology resources so that it is possible to optimize the process and make everything fully interconnected: machine, sensor, operators, software, decision makers, among others, adapting to current conditions and fitting the smart Factories calls. It was also highlighted that it is essential to invest in system upgrades, work material and improvement of labor.

Key-words: Industry 4.0, *Simulation, Digital Twin, Software*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES:

Figura 1: Máquinas da Primeira Revolução Industrial	16
Figura 2: Linha de Produção em Série da Ford	17
Figura 3: Uma das Principais Invenções da Terceira Revolução Industrial	18
Figura 4: Principais contribuições e evoluções das Revoluções Industriais	21
Figura 5: Conectividade digital em suas categorias	24
Figura 6: Pilares da Indústria 4.0.	25
Figura 7: Componentes de integração horizontal	26
Figura 8: Integração vertical através de níveis	28
Figura 9: Etapas da Manufatura Aditiva	30
Figura 10: Robô autônomo na indústria automobilística	31
Figura 11: Modelo dos 4 “V”S” de <i>Big Data</i> industrial	33
Figura 12: Componentes da IIoT	37
Figura 13: Os modelos de serviço e as implementações segundo a NIST	38
Figura 14: Relação da CPS com a Internet das coisas e serviços	41
Figura 15: Realidade Aumentada no âmbito industrial	43
Figura 16: Fluxograma passo a passo da aplicabilidade da simulação	47
Figura 17: Modelo de processo de produção através do <i>Digital Twin</i>	50
Figura 18: Fluxograma das etapas dos procedimentos técnicos da pesquisa	55

LISTA DE QUADROS:

Quadro 1: As Revoluções Industriais.....	20
Quadro 2: Níveis hierárquicos e especificações	27
Quadro 3: Manufatura habilitada para IIoT	36
Quadro 4: Impactos positivos e negativos da inserção tecnológica pela I4.....	48
Quadro 5: Classificação e tipos de pesquisa de estudo	54
Quadro 6: Trabalhos acadêmicos selecionados para pesquisa.....	58
Quadro 7: Representantes de fornecimento atual e seus <i>softwares</i> para <i>Digital Twin</i>	74
Quadro 8: Ferramentas de <i>Digital Twin</i> e a matriz decisão	76
Quadro 9: Incentivo dado as pessoas da área de simulação	85

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 1: Contagem da aplicação dos <i>softwares</i> em relação aos setores.....	70
Gráfico 2: Regiões delimitadas e o total por região	71
Gráfico 3: Trabalho encontrado por países	71
Gráfico 4: Tipos de trabalhos acadêmicos selecionados	72
Gráfico 5: Total dos <i>softwares</i> encontrados no material selecionado	73
Gráfico 6: Avaliação dos <i>softwares</i> por categoria mencionada.....	77
Gráfico 7: Estados onde os profissionais trabalham.....	79
Gráfico 8: Distribuição por Regiões	79
Gráfico 9: Profissão dos participantes	80
Gráfico 10: Faixa etária dos participantes	81
Gráfico 11: Tempo de experiência em simulação.....	81
Gráfico 12: Atividades mais realizadas na simulação	82
Gráfico 13: Nível de porte do projeto.....	83
Gráfico 14: <i>Softwares</i> mais utilizados pelos contribuintes.....	83
Gráfico 15: Desafios encontrados na área de simulação segundo os colaboradores	84
Gráfico 16: Investimento além dos <i>softwares</i>	86
Gráfico 17: Benefícios da simulação computacional.....	87
Gráfico 18: Desperdício proveniente do <i>software</i> utilizado	88
Gráfico 19: Melhorias propostas pela simulação	89
Gráfico 20: Pilares da I4 e sua conectividade com a simulação segundo os participantes	90
Gráfico 21: Conhecimento do <i>Digital Twin</i>	92
Gráfico 22: Pilares da I4 que tem a ver com o <i>Digital Twin</i>	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BCG – *Boston Consulting Group*
COVID-19 – *Coronavírus*
CPS – *Sistemas Cyber-Físicos*
EUA – *United States of America*
I.4.0 – *Indústria 4.0*
IIoT – *Industrial Internet of Things*
IoS – *Internet of Services*
IoT – *Internet of Things*
DT – *Digital Twin*
RFID – *Radio-Frequency Identification*
TI – *Tecnologia da Informação*
ERP – *Enterprise resource planning*
MES – *Manufacturing execution system*
SCALA – *Supervisory Control and Data Acquisition*
SED – *Sistemas de Eventos Discretos*
JSSP – *job shop schedule problem*
FSSP – *flow shop schedule problem*
ROS – *robot operation system*
TPS – *Tecnomatix Plant Simulation*
CLP – *Controlador lógico programável*
SDCD - *Sistema digital de controle distribuído*
CS – *Cadeia de suprimentos*
MA- *Manufatura aditiva*
ASTM - *American Society for testing and materials*
SLS – *Selective laser sintering*
SLM - *Selective laser melting*
IFR – *International Federation of Robotic*
IBM – *International Business Machines*
SMO – *Smart manufacturing objects*
RTLS – *Real time location system*
NIST – *Instituto Nacional Americano de Padrões e Tecnologia*
FORTRAN – *Fórmula Translation*
ENIAC – *Eletronic Numerical Integrator And Computer*

CAGR – *Compound Annual Growth Rate*

SATDD – Sistemas Autônomos de Tomada de Decisão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Considerações Iniciais.....	15
1.2 Justificativa de Estudo.....	21
1.3 Objetivos.....	22
1.3.1 Objetivo Geral.....	22
1.3.2 Objetivos Específicos.....	22
1.4. Hipóteses.....	22
1.5. Estrutura da Monografia	22
2. PRINCÍPIOS E PILARES DA INDÚSTRIA 4.0	24
2.1 Sistema de Integração Horizontal e Vertical.....	25
2.2 Manufatura Aditiva.....	29
2.3 Robôs Autônomos	30
2.4 Big Data Analysis.....	32
2.5 IoT (Internet of Things)	34
2.5.1 IoS (Internet of Service).....	34
2.5.2 IIoT (Industrial Internet of Things)	35
2.6 Computação em Nuvem	37
2.7 Sistemas Cyber-Físicos (CPS).....	40
2.8 Realidade Aumentada.....	42
2.9 Simulação na Indústria4.0.....	43

3. CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO	44
3.1 Objetivos da Simulação.....	44
3.2 Aplicabilidade da Simulação	45
3.3 Impactos Positivos e Negativos da Simulação	48
3.4 Custo-benefício da Simulação.....	49
3.5 Digital Twin na simulação Industrial.....	49
4. MÉTODOS UTILIZADOS PARA PESQUISA.....	53
4.1 Etapa A - Revisão Bibliográfica e Análise Bibliométrica	56
4.2 Etapa B - Escolha do Método para a coleta de dados da pesquisa	57
4.3 Etapa C - Comparação dos Resultados Obtidos	57
5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA.....	58
5.1 <i>Digital Twin</i> e suas aplicabilidades.....	73
5.2 Desafios para o <i>Digital Twin</i> dentro das Referências.....	78
5.3 Dados e Informações Obtidas no Questionário Aplicado.....	78
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	94
7. REFERÊNCIAS.....	96
APÊNDICE A - Questionário sobre utilização dos <i>softwares</i> de simulação.....	107

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o surgimento das Revoluções Industriais, bem como as suas evoluções e contribuições para o setor industrial. Também são apresentados os objetivos, justificativas e hipóteses geradas na elaboração deste estudo.

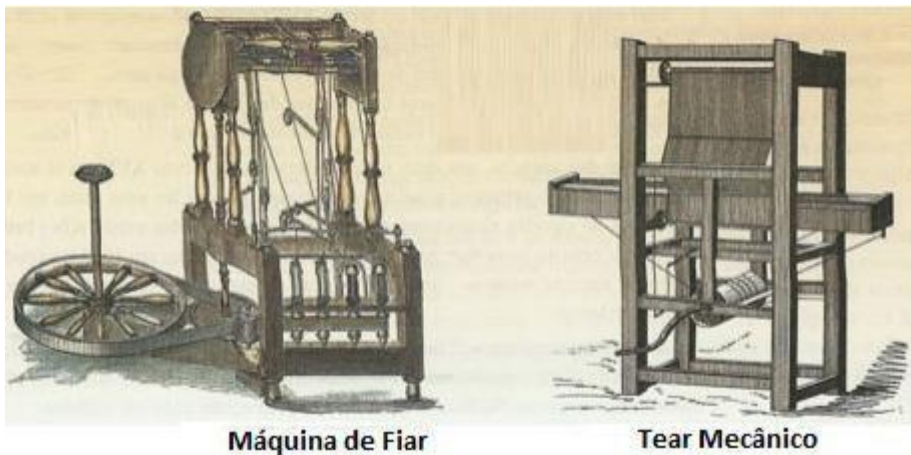
1.1 Considerações Iniciais

É inegável dizer que a Primeira Revolução Industrial, ocorrida em 1760, talvez tenha sido uma das revoluções mais fantásticas da era capitalista. De acordo com Santos e Araújo (2011) a Primeira Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII na Inglaterra, consiste nas transformações intensas e profundas no processo de produção que ficaram explicitadas pela substituição da energia humana pela energia motriz não humana.

Ainda segundo Santos e Araújo (2011), a intensa industrialização da Inglaterra contou também com a contribuição de fatores naturais existentes no reino britânico: como as reservas de ferro e de carvão, o que contribuiu para o desenvolvimento da siderurgia, setor fundamental para produção de máquinas e outros instrumentos de produção em uma era de industrialização. Nesse sentido, Miranda (2012) afirma que a Revolução Industrial, fomentada pelo espírito capitalista, modificou toda a estrutura econômica e social da Europa e, por conseguinte, de todo o mundo. No mesmo período histórico, ocorrera a Revolução Francesa, que forneceu um novo paradigma político através dos ideais revolucionários de 1789, momento de imensa ruptura política e social, sendo apontada pelos historiadores como fato relevante que modificou a humanidade, em que a queda da Bastilha é apontada como o momento histórico da mudança da Idade Moderna para a Idade Contemporânea. Novos modelos sociais, políticos e econômicos foram postos. Foi o surgimento do liberalismo, político e econômico. (MIRANDA, 2012)

Pode ser observado na Figura 1, algumas máquinas da primeira revolução industrial que marcaram época, enfatizando a grande mudança, principalmente no setor têxtil durante a Primeira Revolução Industrial. Algumas delas são visualizadas na Figura 1.

Figura 1: Máquinas da Primeira Revolução Industrial



Fonte: Cardoso (2016)

Como consequência desse acontecimento que culminou com o aumento da produtividade por parte das novas tecnologias inseridas no setor industrial, e por esses novos modelos implementados e acontecimentos históricos, houve a necessidade de estudar novas formas de administrar, dando origem à chamada Administração Científica. Segundo Carvalho Junior e Brito (2016), Taylor, Fayol e Weber desenvolveram a Administração Científica que criou novos métodos de trabalho, desenvolvimento de responsabilidades, incentivos ao trabalhador, aumento da integração entre os departamentos, qualificação dos funcionários, amenização de conflitos e aumento da eficiência produtiva da empresa.

Através dessas novas mudanças nas estruturas laborais e a constante alta da produção cada vez maior, pode-se dizer que por meio dessas mudanças, as características industriais e o conceito aplicado, foi de fato evoluído. Segundo Da Silva e Gasparin (2005), no século XIX, por volta de 1860, a Revolução Industrial assumiu novas características e uma incontida dinâmica, impulsionada por inovações técnicas, como a descoberta da eletricidade, a transformação de ferro em aço, o surgimento e o avanço dos meios de transporte e, mais tarde, dos meios de comunicação, o desenvolvimento da indústria química e de outros setores.

Essas inserções caracterizaram, de acordo com Da Silva e Gasparin (2005), a Segunda Revolução Industrial e, com ela, na busca de maiores lucros em relação aos investimentos feitos, levou-se ao extremo da especialização do trabalho; ampliou-se a produção, passando-se a produzir mercadorias em série, o que diminuía o custo por unidade produzida. Este cenário também foi enfatizado pelas linhas de montagem, esteiras rolantes por onde circulavam as partes do produto a ser montado, de modo a agilizar a produção. É possível observar na Figura 2 uma linha de produção em massa de uma fábrica da Ford:

Figura 2: Linha de Produção em Série da Ford



Fonte: Petrin (2016)

Nessa segunda parte da Revolução Industrial, utilizando o conceito de Taylor e aprimorando-os, tem-se como grande símbolo a era do Fordismo. Para Merlo e Lapis (2007), o fordismo consolidou um novo modelo de desenvolvimento, caracterizado pela produção em massa e pelo consumo de massa, o que colocava as necessidades de ampliar mercados e de estabelecer um novo patamar de rendimentos para os trabalhadores. Segundo Morais Neto (1989), o fordismo caracteriza a proposta de Taylor, pois, este, de modo geral, tinha o intuito de administrar a forma de execução de cada trabalho individual, o fordismo dessa forma, realizava isso de forma conjunta, onde as tarefas que eram individuais, se tornavam coletivas e eram auxiliadas por esteiras.

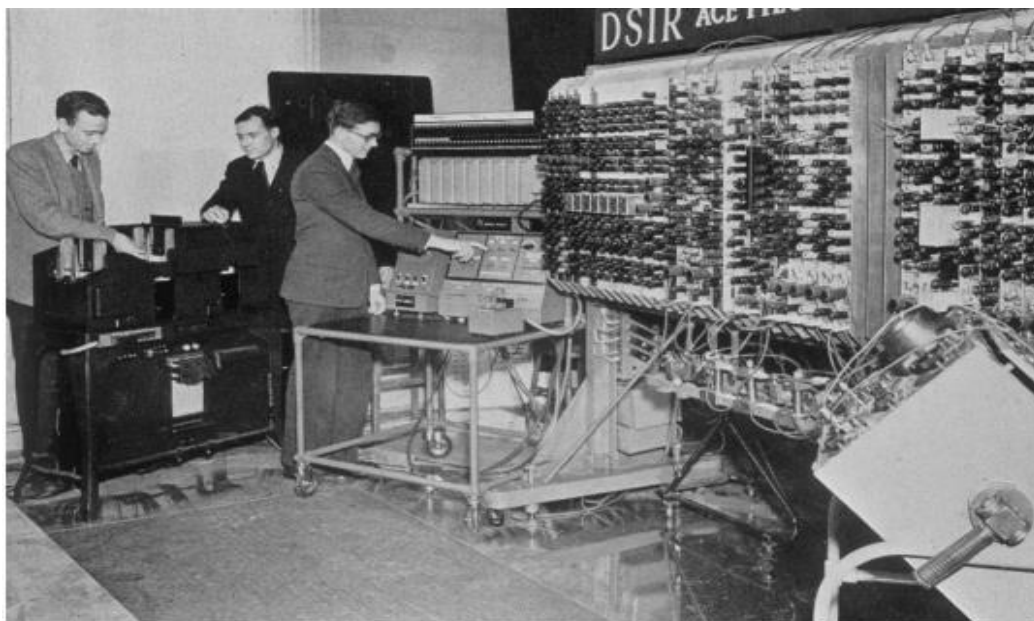
É possível notar um mundo mais conectado e globalizado após essa constante evolução de novas técnicas, novos recursos disponíveis e agilidade da comunicação, as quais foram ampliadas durante a segunda Revolução Industrial. Desse modo, a segunda Revolução Industrial teve vigência até o contexto pós Segunda Guerra Mundial (1939-1945), onde a partir daí novas tecnologias, novos recursos e principalmente a chamada “Era de Ouro” do capitalismo (1950-1970) contribuíram para uma mudança significativa na época. Segundo Barros (2020) a própria estrutura herdada da Segunda Guerra e o espectro do socialismo levaram à Era de Ouro do capitalismo, um período com elevado crescimento econômico, baixo desemprego e controle inflacionário impulsionando ainda mais as mudanças da época. Além desses acontecimentos, outro fator que se cita como grande contribuinte e foco de mudanças é

o período da Guerra Fria (1947-1991), onde nota-se uma época de grande investimento, principalmente na corrida armamentista.

Além disso, outro fato marcante do Capitalismo após a Segunda Guerra Mundial, segundo Santos e Araújo (*apud* HOBBSAWN, 1995), foi “a revolução tecnológica”, que possibilitou o aprimoramento de antigos produtos, como também a produção de mercadorias impensáveis antes das guerras mundiais. Entre esses produtos cita-se: os plásticos, o náilon, a televisão, os primeiros computadores, o radar, o motor a jato, a exploração da energia nuclear e outros objetos que fazem parte do nosso cotidiano.

Essa Revolução Tecnológica apresentada por Hobsbawn (1995), também é conhecida como Terceira Revolução Industrial, que segundo Santos e Araújo (2011), foi fundamentada nas novas tecnologias microeletrônicas e da transmissão de informações, automatização e robotização. A incorporação de novas tecnologias e ciências no processo produtivo implicou na substituição de mão-de-obra, na exigência de novo tipo de trabalhador e na necessidade da introdução de novas relações de trabalho. É possível evidenciar na Figura 3, uma das principais contribuições da Terceira Revolução Industrial.

Figura 3: Uma das Principais Invenções da Terceira Revolução Industrial



Fonte: Bargo e Mendes (2022)

Desse modo, atualmente vive-se em um cenário diferente dos anteriores, pois constantemente novas tecnologias, novos conceitos e novos recursos estão cada vez mais transformando a realidade diária das pessoas e dos meios industriais. Assim, de acordo com Magalhães (2019), o surgimento da Quarta Revolução Industrial, originou-se por meio de

diversos saltos de qualidade no desenvolvimento econômico mundial, que foram provocados pelas outras Revoluções Industriais. Desta vez, a grande precursora dessa Revolução Industrial é a Alemanha e foi através da Feira Anual de Hannover na Alemanha em 2011 que esse novo conceito foi nomeado como “Indústria 4.0”.

Desse modo, segundo Schwab (2016), alguns critérios que diferenciam a Quarta Revolução Industrial das anteriores são: velocidade, amplitude e impacto sistêmico. Segundo o autor, a Quarta Revolução Industrial evolui exponencialmente, enquanto as outras Revoluções se desenvolveram de forma linear. A Revolução Digital serve de grande apoio, uma vez que, para o surgimento das inovações tecnológicas, é necessário um grande poder computacional para analisar dados, criar algoritmos e utilizar da inteligência artificial. Teixeira *et al.* (2020), argumenta que para se falar da Quarta Revolução Industrial, é interessante um retrospecto do que foi cada uma das revoluções industriais. Estes fatos são destacados no Quadro 1.

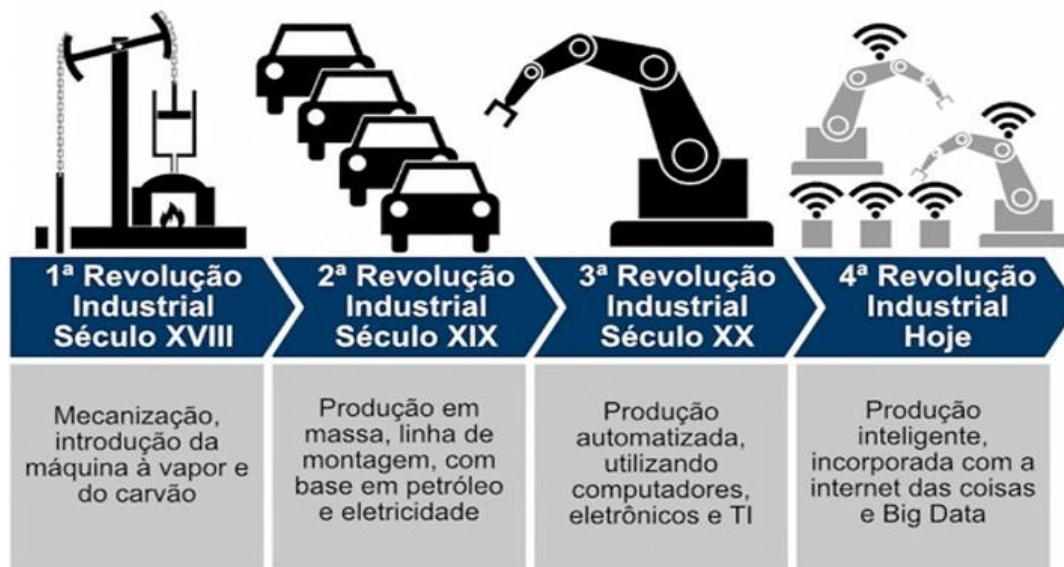
Quadro I- As Revoluções Industriais

Denominação:	Período:	Mudanças Observadas:
Primeira Revolução Industrial	Indústria 1.0 (1760 - 1840)	Marcada pela mecanização da produção com a introdução da máquina a vapor nos processos de produção, ganho de produtividade, formação de indústrias em grande escala.
Segunda Revolução Industrial	Indústria 2.0 (1850- 1945)	O uso da energia elétrica nas linhas de montagem transformou totalmente a indústria e a vida das pessoas, energia para iluminação e para os motores e máquinas industriais, mudanças nos processos produtivos com o início da produção em série (produção em massa) e na organização da sociedade.
Terceira Revolução Industrial	Indústria 3.0 (1950 - 2010)	O grande diferencial foi a automação dos processos industriais, através da introdução da eletrônica, tecnologia da informação e de computadores, trazendo novos conceitos como a produção enxuta.
Quarta Revolução Industrial	Indústria 4.0 (2011 - atual)	O foco é na digitalização através das várias tecnologias e incrementos mecânicos, elétricos, eletrônicos, para melhorar a inteligência, trazendo maior autonomia na frente aos novos desafios da indústria. Convergência de várias tecnologias, fusão entre o mundo físico e o virtual através da internet

Fonte: Adaptado de Teixeira et.al (2020)

Na Figura 4 é possível visualizar as principais contribuições de cada revolução anteriormente citadas, bem como suas principais características:

Figura 4: Principais Contribuições e Evoluções das Revoluções Industriais



Fonte: C2TI (2019, p. 1)

1.2 Justificativa de Estudo:

De certa maneira, a Quarta Revolução Industrial, como dito anteriormente, seria basicamente tudo o que há de mais avançado em várias áreas do conhecimento, de forma a oferecer para as indústrias, um novo conceito de produção e otimização de processos. Atualmente, há uma perfeita interação entre todos os setores, tecnologias distintas, metodologias, *softwares* dentre outros recursos que participam diretamente desse processo.

Vale ressaltar que como esse último conceito revolucionário é recente e mais completo, ainda há tempo para que as organizações de um modo geral, consigam se adequar às mudanças necessárias para se enquadrarem a essa nova realidade, principalmente nos países em desenvolvimento como é o caso do Brasil. Para que isso aconteça de fato, é necessário um grande investimento em tecnologias, capacitação de profissionais, treinamentos, segurança de dados e informações, adequações de normas e *softwares* que possibilitam uma interface entre o homem e a máquina de modo a tornar o sistema ágil e automatizado.

Atualmente é possível dizer que muitos desses *softwares* vem facilitando e auxiliando os gestores nas tomadas de decisões, tendo um papel muito importante no que diz respeito, a todo

o ciclo de vida do produto através de simulações, que possibilita teste de possíveis processos, e de produtos a serem elaborados ainda na sua fase inicial, como é o caso do *Digital Twin*, ou “Gêmeo Digital”. Devido a isso, o presente estudo visa responder a seguinte questão: quais são as evoluções que ocorreram no processo de simulação no setor industrial para atender a indústria 4.0?

1.3 Objetivos:

Os objetivos que regem este trabalho de conclusão de curso são especificamente:

1.3.1 Objetivo Geral:

Analisar a importância dos *softwares* de simulação dentro da indústria 4.0, principalmente o *Digital Twin*, enfatizando sua aplicabilidade e seus principais benefícios dentro das organizações que já inseriram essa nova metodologia.

1.3.2 Objetivos Específicos:

- Realizar uma pesquisa bibliográfica para apresentar os principais conceitos dos *softwares* de simulação e sua aplicabilidade na indústria 4.0;
- Identificar quais os impactos e transformações dessa ferramenta no ambiente organizacional;
- Realizar uma pesquisa bibliométrica para avaliar o grau de inserção da simulação na indústria 4.0 dentro das organizações;
- Apresentar os principais desafios de inserção dessa tecnologia nos processos industriais;

1.4. Hipóteses:

- A grande maioria das empresas ainda não implementaram o *Digital Twin* devido à falta de recursos disponíveis;
- Há dificuldade em encontrar mão de obra qualificada, bem como encontrar pessoas que capacitem grupos de replicação neste ambiente;
- Há a necessidade de se investir em recursos de alta tecnologia e de alto custo.

1.5. Estrutura da Monografia:

Esse estudo é estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 1: Consiste na apresentação das eras das Revoluções Industriais, destacando as suas principais características, contribuições e mudanças no cenário industrial. Também são apresentados os objetivos, as justificativas e a estrutura deste trabalho de conclusão de curso.

O Capítulo 2: São descritos os princípios da indústria 4.0, bem como seus pilares e a especificação de cada um deles.

O Capítulo 3: Retrata os principais conceitos de Simulação computacional, o surgimento dos softwares de simulação bem como a sua aplicação no setor industrial.

O Capítulo 4: Apresenta-se como a metodologia da pesquisa é aplicada, bem como as etapas e todo o processo de desenvolvimento deste estudo.

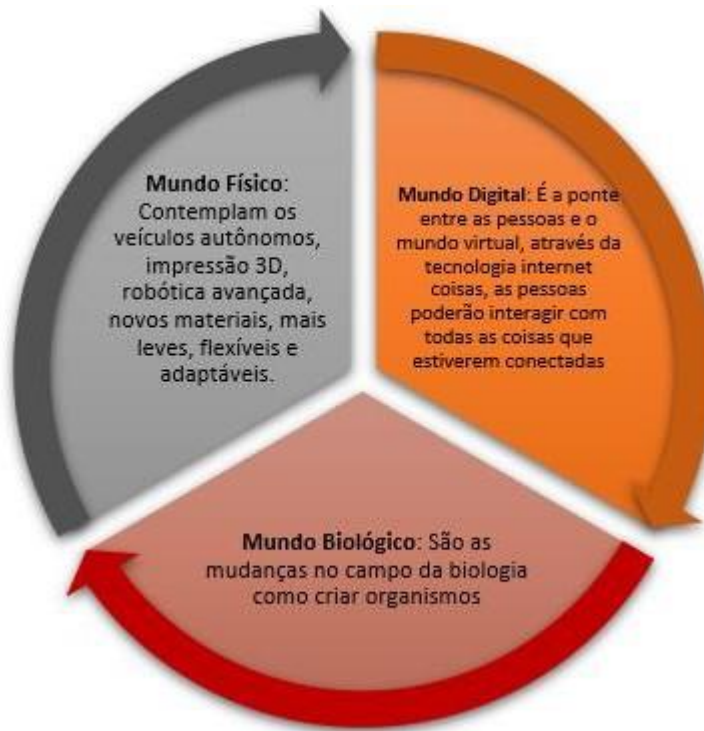
O Capítulo 5: É composto pelo acervo dos Trabalhos Acadêmicos que foram selecionados para a pesquisa, bem como a interpretação dos dados obtidos, realizando assim a análise bibliométrica e análise dos dados recolhidos do questionário aplicado.

O Capítulo 6: Considerações Finais.

2. PRINCÍPIOS E PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

Segundo Schwab (2016), a conectividade digital é o grande diferencial que a Indústria 4.0 possui em relação às revoluções passadas. A conectividade digital está presente em três grandes categorias, como é possível identificar na Figura 5:

Figura 5: Conectividade digital em suas categorias

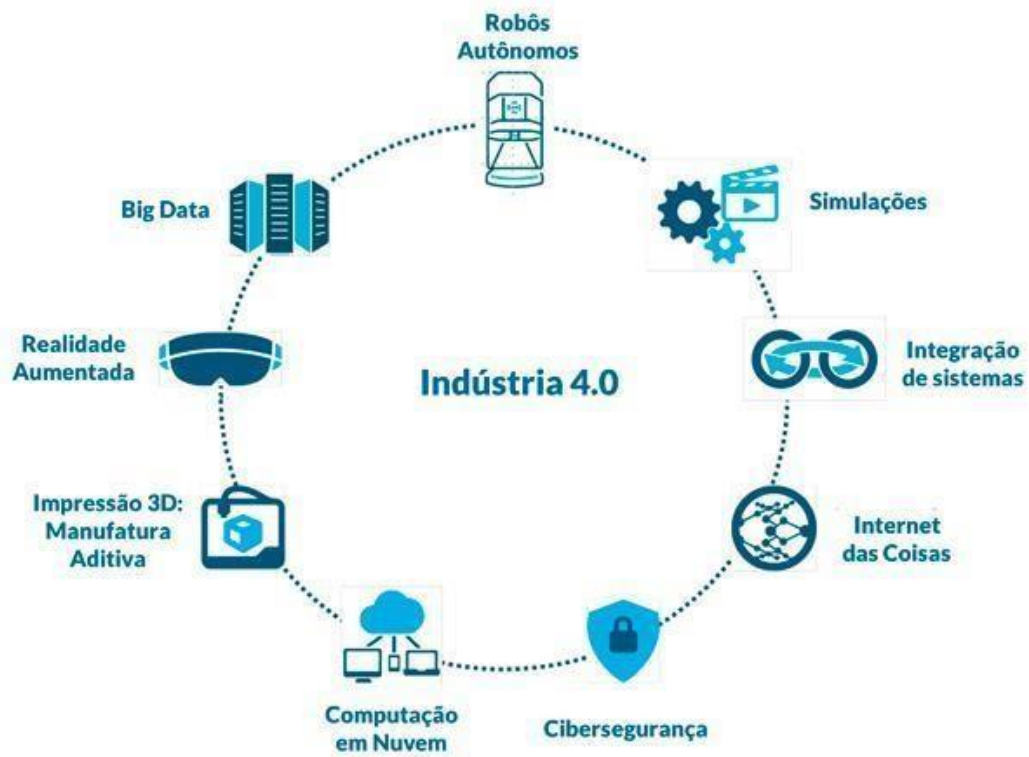


Fonte: Adaptado de Schwab (2016)

Ainda de acordo com Schwab (2016), a ampla presença da conectividade é diferente de tudo que a humanidade já experimentou, estas novas tecnologias estão unindo os mundos físico, digital e biológico de forma a criar grandes promessas.

Segundo a *Boston Consulting Group* (BCG), também criadora na década de 70 da ferramenta chamada de matriz BCG, que é importante para análise gráfica de produtos no mercado, a indústria 4.0 está sustentada por nove pilares, ou pode-se dizer também, nove principais tecnologias. Na Figura 6 é possível visualizar cada um desses nove pilares:

Figura 6: Pilares da Indústria 4.0



Fonte: C2TI (2019, p. 1)

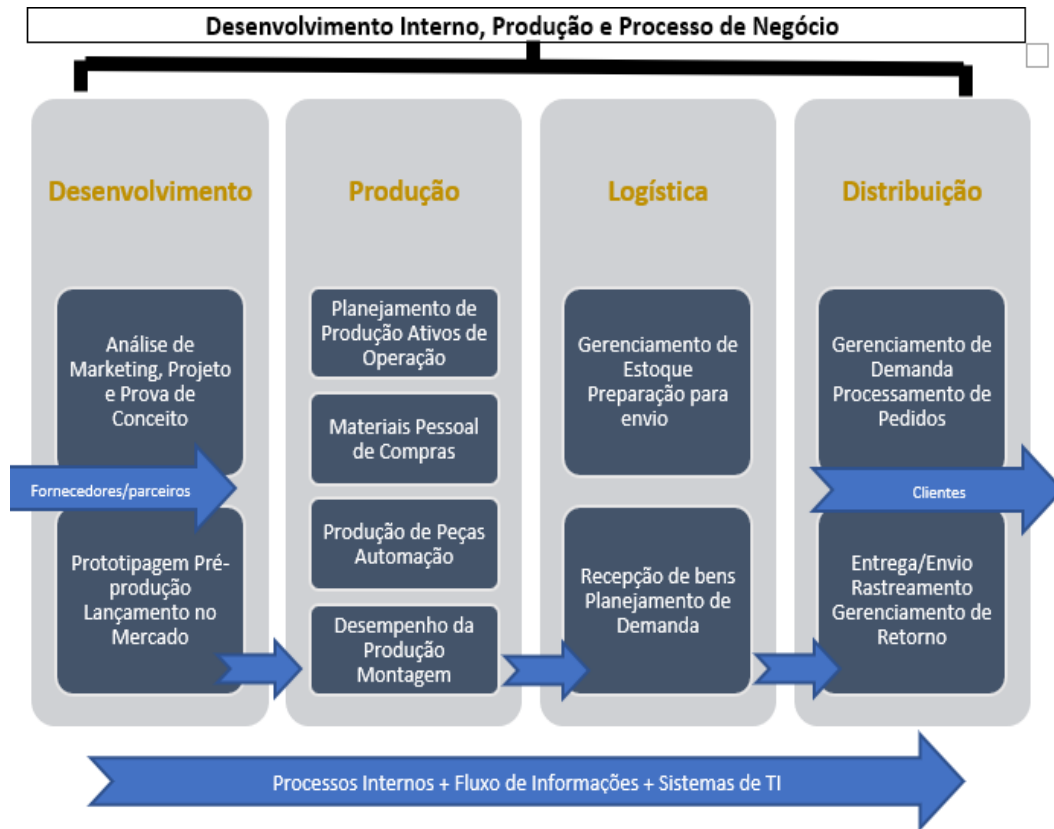
Através da Figura 6, é possível listar e detalhar a principal função de cada uma delas dentro do contexto industrial.

2.1 Sistema de Integração Horizontal e Vertical

De acordo com Romano (2017), a integração horizontal está relacionada com a conexão entre a fábrica e toda a cadeia de valor externa à planta, indo além da própria organização conectando-se aos parceiros externos para entregar um melhor serviço ao cliente. Já a integração vertical trata da integração de sistema de tecnologia da informação em vários níveis de produção e fabricação, além da integração da estrutura interna da empresa.

De acordo com Rubmann (2015) *et al.* a definição de Integração Horizontal, se baseia na junção de todas as partes envolvidas da cadeia de suprimentos (CS), que é de fato demonstrada na Figura 7.

Figura 7: Componentes de Integração Horizontal



Fonte: Adaptado do site: I-scoop (2017)

Como pode-se analisar pela Figura acima, as partes que de fato compõem a cadeia de suprimentos, são os setores de Desenvolvimento, Produção, Logística e Distribuição. Sendo assim, Rubmann *et al.* define que a Integração Vertical os sistemas que são totalmente integrados entre si, que são reconfiguráveis e flexíveis, de modo a obter mais agilidade nas informações.

Romano (2017) define que a integração horizontal contribuirá para colaboração, redução de custos, criação de valor, velocidade (no atendimento e nas operações) e para possibilidade de criar ecossistemas horizontais de valor, com base em informações e a integração vertical, se baseia em sistemas integrados dentro dos vários níveis de produção e fabricação. Os níveis hierárquicos encontrados na indústria são descritos no Quadro 2:

Quadro 2: Níveis Hierárquicos e Especificações

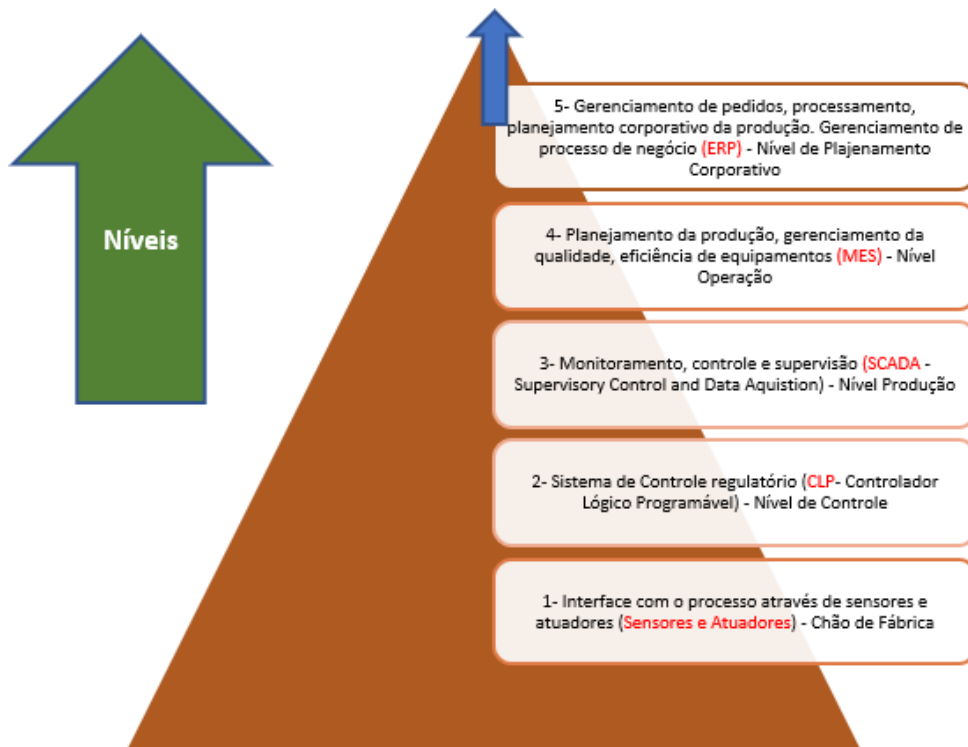
Nível Hierárquico dos Softwares	Definição do Nível	Soluções e Tecnologias	Definições da Tecnologia
Nível de Campo: (chão-de-fábrica)	Interface com o processo de produção através de sensores e atuadores.	Sensores e Atuadores	Automatizar processos industriais
Nível de Controle:	Regulamentação tanto das máquinas quanto dos controles.	PLCs	Responsáveis por controlar os processos de fabricação e se encontram no nível de controle
Nível de Produção:	O que precisa ser controlado e monitorado.	SCADA	Sistema que permite monitorar, controlar e supervisionar várias tarefas de nível de produção
Nível de Operação:	Planejamento de produção, Gerenciamento da Qualidade e assim sucessivamente.	MES	É um sistema de execução de fabricação para o gerenciamento do nível operacional da planta.
Nível de Planejamento Empresarial:	Gerenciamento e processos de pedidos, maior planejamento geral da produção, monitoramento de desempenho da fábrica etc.	ERP	O sistema inteligente da empresa para o nível de planejamento empresarial, o nível mais alto da hierarquia.

Fonte: Adaptado de Romano (2017)

Na Figura 8, é possível observar detalhadamente a integração junto da Tabela 2 que correspondem aos níveis hierárquicos dos *softwares*, enfatizando uma pirâmide, onde o topo,

corresponde ao Nível de Planejamento Empresarial, que seria basicamente a visão que o gestor teria, como um todo, visto lá de cima.

Figura 8: Integração vertical através dos níveis



Fonte: Adaptado do site I-Scoop (2017)

Como é possível observar, há uma integração de todos os respectivos *softwares*, em todos os níveis da hierarquia da cadeia produtiva, tendo o início no nível mais inferior, que é chão de fábrica. A partir daí, o nível de controle é responsável pela regulação de máquinas e sistemas usando o sistema chamado de CLP. Na Figura 8, item 3, o *software* SCADA é responsável por monitorar e controlar a produção, utilizando as informações provenientes dos níveis inferiores, vindos dos sensores e atuadores e do CLP. A seguir tem-se o MES, importante para o controle da operação produtiva, sendo responsável pelo planejamento, pela qualidade e eficiência das máquinas e equipamentos que participam do processo produtivo. Por fim, vem o ERP, *software* que conta com todas as informações da cadeia produtiva, além de outras informações importantes de outros setores da organização. Desse modo o ERP é o *software* que ajuda a gerenciar o planejamento em toda a corporação.

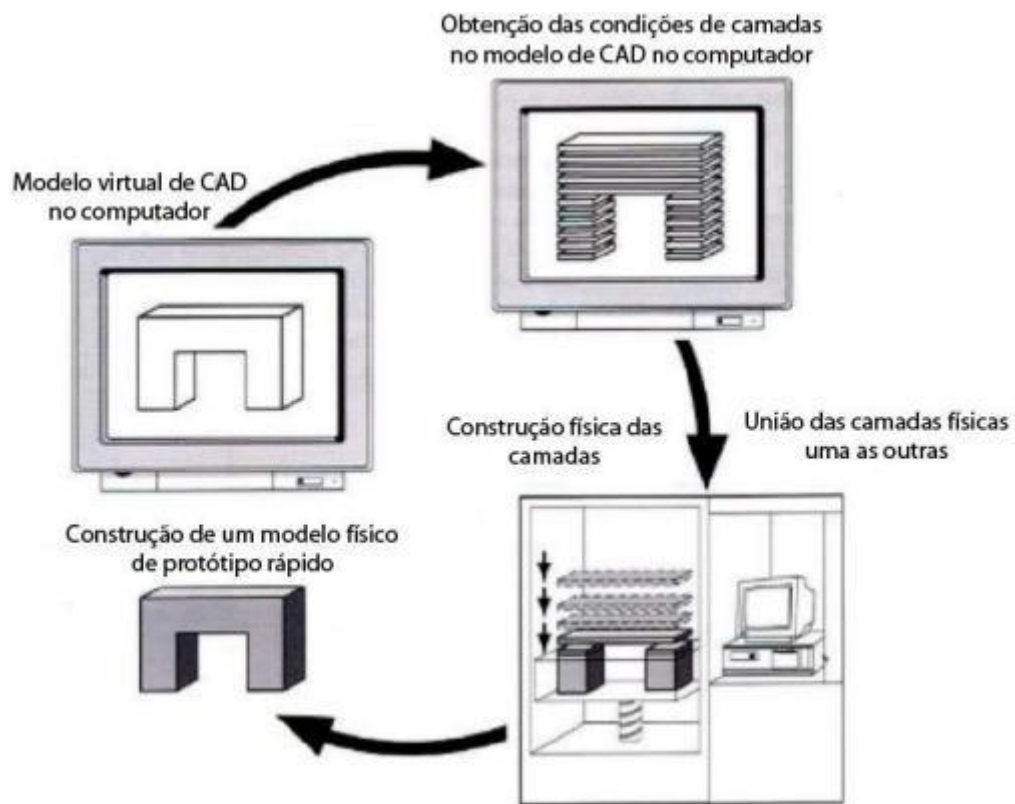
2.2 Manufatura Aditiva

Segundo Albertin et al. (2017), a manufatura aditiva permite entregar uma variedade de produtos, com diferentes customizações, em diversos lugares, utilizando novas tecnologias como a impressão em 3D. Aditivo vem do processo de produzir (imprimir) produtos e/ou componentes por meio da adição de materiais em camadas, ao invés dos processos tradicionais de forjamento, estampagem, fundição, torneamento e soldagem.

Segundo Santos (2019), a manufatura aditiva (MA) é definida pela American Society for Testing and Materials (ASTM) como “O processo de unir materiais para fazer objetos a partir de um modelo virtual 3D, usualmente camada por camada, em oposição às metodologias de manufatura subtrativa, como em máquinas tradicionais. Ainda de acordo com Santos (2019), existem diversos processos de MA, que se diferenciam entre si em função da maneira em que as camadas de material são depositadas. O processamento por MA pode ser via tecnologia de sinterização/fusão a laser (*Selective laser sintering – SLS / Selective laser melting – SLM*), extrusão, jateamento de material, adesivagem, ou fusão por feixe de elétrons.

Na Figura 9 é possível evidenciar, por exemplo, etapas de um processo de construção do modelo físico de uma peça, utilizando a manufatura aditiva (MA).

Figura 9: Etapas da Manufatura Aditiva



Fonte: Souza (2019)

2.3 Robôs Autônomos

Segundo Dias (2022), os robôs autônomos apresentaram ao mercado uma nova maneira de realizar as tarefas básicas e essenciais. Essa tecnologia é capaz de realizar atividades e cumprir objetivos sem a intervenção humana, trazendo várias vantagens para o setor industrial como por exemplo:

- a) **Segurança:** Maior segurança na realização das atividades como limpeza de esgotos e usinas nucleares;
- b) **Produtividade:** Aumento da produtividade, levando em consideração atividades sem interrupções;
- c) **Taxa de Erros:** Baixa taxa de erros, impactando positivamente nos custos operacionais;

Dessa maneira, ainda de acordo com Dias (2022), os robôs funcionam com base em três premissas básicas, sendo elas:

- a) **Percepção:** As funções de percepção são como os sentidos humanos. Para os robôs, isso acontece por meio de seus sensores, scanners e câmeras, além da sua conectividade com a internet;
- b) **Decisão:** É como se fosse as funções do “cérebro” do robô que realiza escolhas e ações instantâneas. Nesse caso o computador é a principal ferramenta onde permite ações reflexivas e calculadas. Um robô autônomo é capaz de trabalhar com maior velocidade e autoridade de acordo com as informações recebidas por seu sistema;
- c) **Atuação:** As funções são realizadas por meio de motores, que são como os músculos humanos. Neste caso as rodas, atuadores lineares ou arietes hidráulicos são capazes de exercerem atividades que exijam mobilidade e perspicácia. Essa característica é muito importante para que as tarefas sejam executadas de maneira rápida e correta.

A Figura 10, representa como é de fato um dos tipos de robôs autônomos existentes hoje no setor industrial, sendo também bastante comum dentro da indústria automotiva. Esses robôs são compostos por braços gigantes, auxiliando no processo de produção e montagem dos produtos.

Figura 10: Robô Autônomo na Indústria Automobilística



Fonte: <https://epocanegocios.globo.com/colunas/noticia/2021/04/5g-e-iot-o-caminho-rapido-para-manufatura-inteligente.html> (2023)

Segundo a Federação Internacional de Robótica (IFR), devido a grande expansão industrial, possibilitada pela Indústria 4.0, o número de robôs autônomos pelo mundo quadruplicou entre 2009 e 2015. No ano de 2018, a IFR estimou 2,4 milhões de unidades nas fábricas no mundo, tendo a Ásia como o principal continente detentor dessa representatividade da indústria mundial. A implementação desses robôs, podem ser evidenciadas em empresas de tecnologia como a Apple®, Microsoft®, Amazon®, Google®, Intel®, dentre outras.

Segundo Valente (2018), a venda de robôs industriais vem apresentando crescimento sustentado nos últimos cinco anos, com 178 mil unidades comercializadas em 2013, 221 mil em 2014, 254 mil em 2015, 294 mil em 2016 até chegar aos 381 mil em 2017. Considerado esse intervalo, a comercialização mais do que dobrou. Segundo cálculos da federação, o estoque de robôs industriais em operação em todo o mundo chegou a 1,8 milhão de unidades. Pelas projeções da entidade, o número de máquinas em uso em todo o planeta deve passar de 3 milhões em 2020, e posteriormente superar essa marca nos anos seguintes.

2.4 Big Data Analysis

Com o advento dessas novas tecnologias, principalmente nessa era da indústria 4.0, aumentou consideravelmente também o número de dados e informações de naturezas distintas e diferentes fontes que são analisadas em tempo real por parte dos gestores. Sendo assim, segundo Silva (2017), o *big data* tem um conceito baseado em dados que são difíceis de coletar, armazenar, gerir e processar, usando ferramentas e tecnologias convencionais. Ainda de acordo com Silva (2017), a *big data* analítica está presente nessa era industrial para oferecer soluções de manipulação, padronização e transformação de dados industriais.

Dessa maneira, segundo Silva (2017), a proposta para esse conceito de *big data* industrial, consiste nos chamados 4 “V’s”, que nada mais é que: veracidade, variedade, velocidade e volume. É possível observar na Figura 10, como cada um desses 4 “V’S” agem no setor industrial, bem como seus principais pilares.

Figura 11: Modelo dos 4 “V’S” da big data industrial



Fonte: Adaptado de Silva (2017)

Dessa maneira, ainda de acordo com Silva (2017), os 4 “V’S”, segundo a IBM (*International Business Machines*) tem a finalidade de propor um modelo ao qual:

- a) **Volume:** Capacidade de Armazenar um grande volume de dados;
- b) **Variedade:** Opera com vasta variedade de informações coletadas de diferentes fontes;
- c) **Veracidade:** Detecção do conteúdo de dados para segurança do sistema;
- d) **Velocidade:** Habilidade de coleta, transmissão e processamento de dados em tempo real.

Segundo Silva (2017), para se ter um poder de decisão mais preciso, a *big data* industrial demanda um novo modelo de processamento, discernimento e habilidade de otimização. *big data* e o armazenamento em nuvem são tecnologias inseparáveis, pois, a *big data* não pode ser operada em somente um computador, ela deve usar software como serviço com processamento de dados de forma distribuída, plataforma como serviço, armazenamento em nuvem e infraestrutura como serviço. Ainda segundo Wan, Cai e Zhou, a *big data* é uma ferramenta importante da *IoT*, para sincronizar dados, utiliza-se essa ferramenta para aprimorar dados de processos produtivos e sistemas industriais.

2.5 IoT (Internet of Things)

O IoT é uma ferramenta dentro do contexto da indústria 4.0 que possibilita aos envolvidos direta e indiretamente uma conexão entre os mundos: físico e virtual. De acordo com Santos (2018), A IoT é uma rede de objetos interconectados que não apenas coleta informações do ambiente (sensoriamento) e interage com o mundo físico (atuação/comando/controle), mas também usa os padrões existentes da Internet para fornecer serviços para transferência de informações, análises, aplicações e comunicação. Segundo Dias (2016) o pesquisador britânico do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), declarou que essa conexão tem o potencial de mudar o mundo, assim como a internet fez.

De acordo com Colombo e Lucca Filho (2018), a indústria 4.0, está trazendo a IoT, para as empresas, com as máquinas interagindo entre si, coletando e analisando dados, podendo armazená-los em nuvem, permitindo ainda identificar e solucionar problemas sem a interferência humana, tomando decisões eficientes sozinhas. Ela é uma recente revolução no conceito e arranjo físico da indústria, apresentado na abertura da feira de Hannover em 2011 pela Chanceler Federal da Alemanha Angela Merkel. Ainda em conformidade com Colombo e Lucca Filho (2018), a ideia central da IoT é a presença pervasiva de várias coisas ou objetos, com endereços únicos (RFID, sensores, celulares), que podem interagir entre si e cooperar com os próximos para atingir objetivos em comum em comum.

2.5.1 IoS (Internet of Service)

Segundo Reis, Reis e Duarte (2022) A IOS, “*Internet of Services*”, Internet dos serviços é considerada uma evolução da IoT. A IoS é uma infraestrutura para serviços, modelos de negócios e serviços. Ainda de acordo com Reis, Reis e Duarte (2022), um exemplo de aplicabilidade da IoS na Indústria 4.0 é uma Indústria de Impressões de documentos. O pedido é feito por aplicativo de celular do cliente. No pedido será definido a qualidade da impressão, tipo de papel, cores, se há ou não necessidade de plastificação e encadernação, cor de capa, se será feito cópias, entre outros.

Segundo Souza (2021), a IoT e IoS contribuem para a flexibilização e agilidade do ambiente de produção. Enquanto a IoT busca um planejamento estratégico ideal para a empresa, a IoS facilita a divulgação e venda de serviços e produtos produzidos, por meio da internet. A integração entre cliente e empresa promovida pela IoS e o melhoramento do planejamento estratégico da empresa influenciado pela IoT colaboram para que o ambiente de produção opere em um nível mais produtivo.

2.5.2 IIoT (Industrial Internet of Things)

Como o próprio nome já diz a IIoT é a aplicação da IoT na indústria, onde todo o contexto fabril é interligado existindo uma comunicação em tempo real, sendo responsável por envolver desde o chão de fábrica até o mais alto degrau da cadeia produtiva. Segundo Panazzolo, (2018), colocando de uma forma diferente, a IIoT, ocupa-se da conexão entre os ativos de uma empresa, ou seja, conecta as máquinas e sistemas de controle aos de informação e processos de negócio. Tal procedimento coleta uma grande quantidade de dados que fornecem soluções analíticas, levando a operações industriais mais eficazes.

Dessa maneira, em conformidade com Panazzolo (2018), a IIoT tem a capacidade de interconectar e interagir entre si para obter processos lógicos de forma automática e adaptativa. Neste ambiente as conexões homem-a-homem; homem-máquina; máquina-a-máquina (denominada M2M), são essenciais para que a percepção inteligente seja alcançada.

Assim sendo, de acordo com Panazzolo (2018), os conceitos de IoT e IIoT são fortemente relacionados, porém não podem ser utilizados de forma intercambiável. Neste caso, poderia ser tratada como IoT do consumidor, onde ela é voltada para o ser humano, ou seja, as “coisas” são dispositivos eletrônicos inteligentes conectados entre si para proporcionar às pessoas mais consciência sobre o meio ambiente a sua volta. Assim, poderia ser classificada como uma interação entre cliente e servidor, de máquina para usuário

Panazzolo (2018) define que, já pelo lado industrial, lida-se com o advento da manufatura inteligente, onde esta visa integrar a tecnologia da informação com a operacional. Na IIoT a comunicação é orientada à máquina, incluindo aplicativos de monitoramento e novas abordagens para sistemas auto-organizáveis. A manufatura de um ecossistema IIoT, se dá através da conversão de recursos típicos de produção em objetos de manufatura inteligente, ou, *smart manufacturing objects* (SMOs).

Também é importante ressaltar a importância das RFID, onde são atuantes na identificação das radio frequência. Desse modo, no Quadro 3, é possível analisar a atuação da manufatura habilitada para IIoT:

Quadro 3: Manufatura habilitada para IIoT

Características Principais	Tecnologia de Apoio	Pesquisa Principal	Aplicações
Sistema de manufatura inteligente baseado na tecnologia Auto-ID	IIoT	Modelos de tomada de decisão baseados em tempo real	Sistema que gerencia recursos baseado em RFID
Coleta de dados em tempo real	Produção sem fio	Visualização de dados em tempo real	Sistema de produção de construção inteligente habilitado para IIoT
Visibilidade e rastreabilidade em tempo real dos processos de produção	<i>Big Data Analytics</i>	Modelagem SMO	Sistema que gerencia estoque WIP de <i>job shop</i> baseado em RFID
Tomada de decisão de fabricação em tempo real	Computação em Nuvem	Modelos de comportamento SMO	Um sistema que planeja e programa a produção em tempo real habilitado para RFID

Fonte: Adaptado de Panazzolo (2018)

Dessa maneira, para que ainda fique mais fácil entender o contexto da IIoT e consequentemente complementar a ideia da Tabela 1, a Figura 11, retrata todos os componentes envolvidos dentro de um sistema fabril. Esse contexto, pode ser aplicado diretamente no conceito chamado de fábricas inteligentes, termo que se encaixa perfeitamente bem na chamada Indústria 4.0.

Figura 12: Componentes da IIoT



Fonte: Traduzido de IXON's IoT Solutions (2023)

2.6 Computação em Nuvem

Segundo Paz et al. (2020) e baseado no NIST (Instituto Nacional Americano de Padrões e Tecnologia), o modelo de Computação em Nuvem é definido a partir de cinco características importantes, além também de ser composta por três modelos de serviço e quatro modelos de implementação, sendo possível observar na Figura 13:

Figura 13: Os modelos de serviço e as implementações segundo A NIST



Fonte: Paz et al. (2020)

Segundo Mell (2009), esse sistema chamado de computação em nuvem é um modelo de rede que possibilita o acesso, conveniente, a uma série de recursos disponíveis de computação que são compartilháveis, e também configuráveis (exemplo: serviços, aplicativos, armazenamento, redes e servidores), podendo ser facilmente carregados e liberados com o mínimo esforço possível de gerenciamento ou a interação entre os provedores e seus respectivos serviços. Conforme a imagem acima, as cinco características compreendem:

- a) *Self-service on-demand*;
- b) Amplo acesso à rede;
- c) Agrupamento de recursos;
- d) Elasticidade rápida;
- e) Serviço medido.

Assim sendo, dessa maneira, os três modelos de serviços compreendem:

- a) *Software* como Serviço (SaaS);
- b) Plataforma como um serviço (PaaS);
- c) Infraestrutura como um Serviço (IaaS).

E por último, os quatro modelos de implantação compreendem:

- a) Nuvens privadas;
- b) Comunidade de nuvens;
- c) Nuvens públicas;
- d) Nuvens híbridas.

Dessa maneira, as vantagens da aplicação da Computação em Nuvem para a indústria 4.0, são diversas. Dentre essas vantagens pode-se citar, segundo Foresight (2013) os seguintes destaques:

- a) **Flexibilidade e fácil compartilhamento de dados:** a nuvem em si não se trata apenas de uma localização física, sendo possível desse modo que várias pessoas possam ter acesso aos arquivos de vários caminhos diferentes, desde que tenham acesso permitido. Isso em termos industriais quer dizer uma grande garantia de agilidade. Através da implementação da Computação em Nuvem, sendo possível a todos os colaboradores da organização, a interação em tempo real com os conteúdos disponíveis armazenados em nuvem. Desse modo, há conseqüentemente uma integração entre os departamentos colaborando para uma comunicação dinâmica, rápida e eficiente.
- b) **Monitoramento de mobilidade:** a Computação em Nuvem proporciona uma melhor gestão e um melhor controle das operações e rastreamento rápido de informações e requisitos, mesmo que essa, não seja perceptível fisicamente. Isso proporciona um melhor entendimento e compreensão dos sistemas e possibilitando a tomada de decisão mais assertiva, pois o gerente tem acesso a dados que podem monitorar de forma flexível e eficiente o desempenho de uma empresa e/ou indústria;
- c) **Economia:** Através da implementação da Computação em Nuvem, uma indústria tende a ganhar rentabilidade, o que de maneira geral se traduz em rentabilidades do serviço de suporte técnico e servidores. Dessa forma o tempo se torna ágil e otimizado, possibilitando aos usuários o acesso aos dados de forma mais flexível.

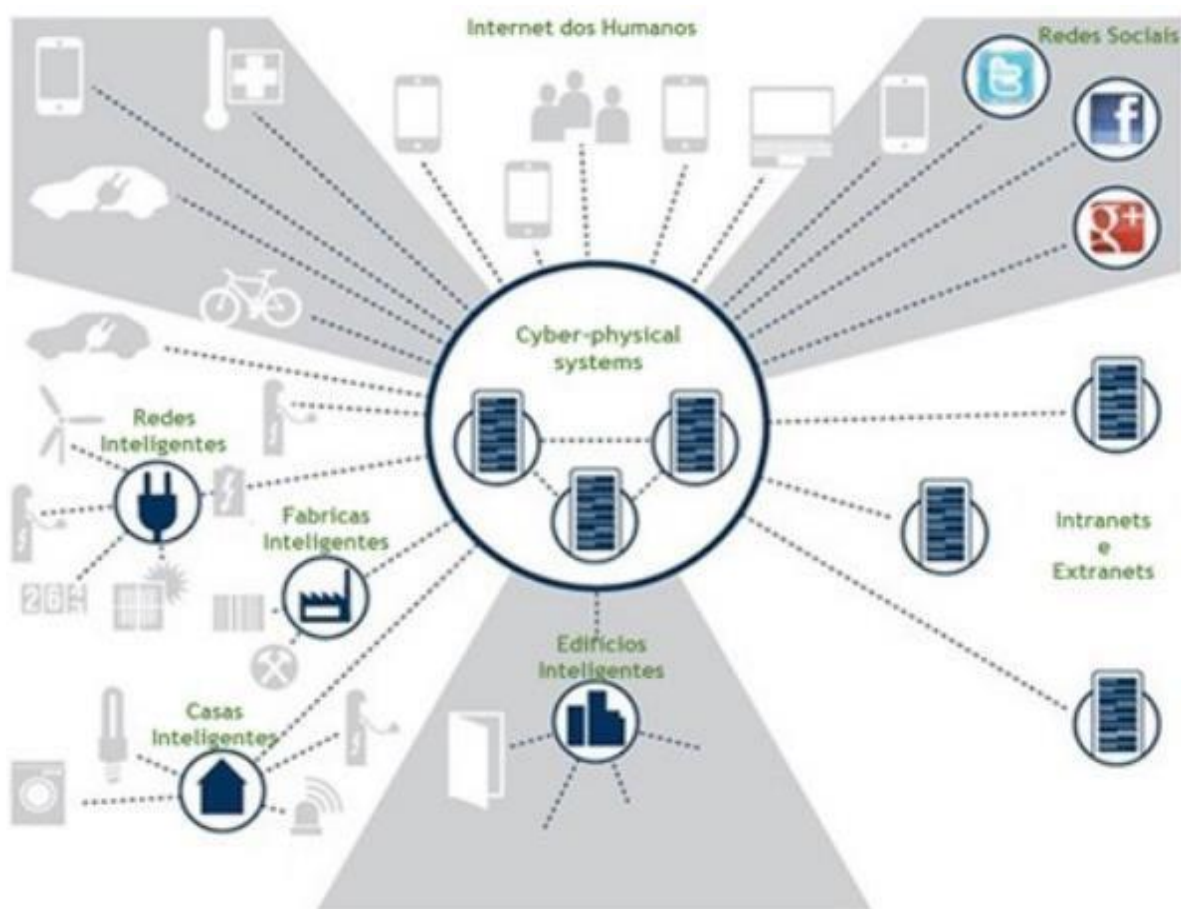
2.7 Sistemas Cyber-Físicos (CPS)

Paz et al. (2020), o chamado CPS (*Cyber-Physical Systems*), compreende uma série de sistemas integrados, com capacidades computacionais e físicas que interagem com os seres humanos, por meio de muitas modalidades distintas. Esses sistemas correspondem a máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento de dados e informações e mecanismos de produção que tem a funcionalidade de maneira autônoma, de compartilhar informações, tendo como consequência ações e controle que se interagem de maneira independente, possibilitando então, melhoria dos processos industriais que envolvem toda a cadeia produtiva.

Ainda em conformidade com Paz et al. (2020), o *Cyber-Physical Systems* integra o conhecimento em si, juntamente com o princípio da engenharia, nas disciplinas de informática e engenharia, sendo rede, controle, *softwares*, interação humana, teoria de aprendizagens, dentre outras, além do desenvolvimento de tecnologias para o suporte do sistema.

A Figura 14 ressalta a interação dos *Cyber-physical systems* com os componentes que fazem parte do sistema, sendo eles: dispositivos, máquinas, sensores e atuadores em total integração com a Internet.

Figura 14: Relação da CPS com a Internet das Coisas e Serviços



Fonte: Paz et al. (2020)

Sendo assim, segundo Moreira (2017) os Sistemas Cyber-Físicos, tem as seguintes características:

- a) **Canais de comunicação protegidos:** Esses são responsáveis pela comunicação e integração dos colaboradores. Com a implementação dos Sistemas Cyber-Físicos, há uma confiabilidade para que a troca de informações seja realizada de forma segura.
- b) **Gerenciamento e controle distribuído:** os equipamentos e localidades são distribuídos de acordo com o controle e o gerenciamento;
- c) **Medição e controle de desempenho em tempo real:** A medição e controle de desempenho dos serviços e produtos é realizada em todas as etapas do processo, o que proporciona a eficiência e diminuição dos desperdícios;
- d) **Grande distribuição geográfica sem necessidade de segurança física em vários locais ao mesmo tempo:** através do sistema Cyber-físicos, é possível monitorar todos os lugares em tempo real sem a necessidade de investir em segurança física;

- e) **Sistemas de controle de grande escala (*System of Systems – SoS*):** Os Sistemas Cyber-Físicos são compostos de no mínimo um ou mais sistemas que se relacionam e colaboram diretamente uns com os outros.

Desse modo, Paz et al. (2020) conclui que, acredita-se que os chamados CPS, tenham um papel de desempenhar novos sistemas de engenharia, com novas atribuições que vão além dos níveis de autonomia, funcionalidade, praticidade do uso, a segurança cibernética e a confiabilidade.

2.8 Realidade Aumentada

Segundo Albertin et al. (2017), através dessa adequação dos setores fabris em conformidade com a Indústria 4.0, é perceptível que cada vez mais as tarefas e os procedimentos, nos postos de trabalho, são de certa forma, ampliados por algum componente digital, sendo a aplicação da realidade aumentada (RA), importante na criação de uma interface entre os colaboradores e os produtos digitais, originando assim postos de trabalho interativos e mais comunicativos. Dessa maneira, a RA pode ser aplicada no setor fabril, com a finalidade de aumentar a produtividade em quase todas as atividades, desde atividades mais simples e relativamente básicas do chão de fábrica até suporte para processos de manutenção e treinamento.

Ainda de acordo com Albertin et al. (2017), a estratégia na indústria 4.0 é integrar toda a cadeia de valor para atender uma demanda crescente da indústria mundial e a RA (Realidade Aumentada) é uma das principais novas tecnologias abordadas por esse conceito por ajudar os processos industriais a se tornarem mais inteligentes, principalmente nas operações que requerem procedimentos, na manutenção e assistência remota, no treinamento dos colaboradores, no controle da qualidade, na gestão de riscos, no projeto de produtos e na logística.

Segundo Uesugui et al. (2022), O uso da RA traz inúmeras vantagens ao nosso cotidiano, algumas das quais podem ser citadas:

- a) Conserto de máquina com manual interagindo com o usuário e disponibilizando informações em momento real que precisam ser utilizadas através das demonstrações reais por vídeos e imagens do que exatamente será feito, com precisão e clareza;
- b) Fazer simulações aos produtos antes mesmo deles serem produzidos;
- c) Prever erros, corrigi-los e repeti-los sem que estes afetem a qualidade, o custo do produto ou mesmo interfira na sua produção;

d) Andar pelo chão de fábrica e obter informações adicionais no seu entorno.

A Figura 15 exemplifica as atribuições e funcionalidade da RA dentro do ambiente industrial.

Figura 15: Realidade Aumentada no âmbito industrial



Fonte: www.channelfutures.com (2023)

2.9 Simulação na Indústria 4.0

A simulação tem um papel de grande importância no contexto da indústria 4.0, pois possibilita aos gestores ter um conhecimento prévio, por meio de testes de possíveis cenários futuros dentro da linha de produção, o que possibilita melhores e direcionadas decisões. Segundo Ferreira et al. (2020), a simulação é uma tecnologia atualmente essencial para o desenvolvimento de modelos exploratórios, que auxiliam de o processo de formação das decisões, além de auxiliar na formação dos roteiros de operações dos sistemas da produção que são complexos e inteligentes, levando também em consideração seus respectivos projetos.

Dessa maneira, de acordo com Ferreira et al. (2020), também pode auxiliar de forma clara e objetiva, as empresas a avaliar os riscos, custos, barreiras de implementação e também o impacto no desempenho operacional, além de ser um guia para a indústria 4.0. Segundo Albertin et al. (2017), a utilização desses *softwares* de simulação avançada para prototipagem virtual é um dos principais pontos da Indústria 4.0.

Desse modo, como foco principal deste estudo, o capítulo 3 vai retratar a simulação de um modo geral, desde o seu surgimento, seus objetivos, sua aplicabilidade, seus impactos positivos e negativos, custo-benefício e por fim, será citado o “*Digital Twin*” que é o *software* que será usado para estudo, sendo um software de simulação que é uma versão digital de um produto real de uma empresa.

3. CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS DA SIMULAÇÃO

Segundo Baladez (2009), a simulação teve grande impulso durante a Segunda Guerra Mundial, por meio de computadores. O Mark I da marinha e o ENIAC do exército norte-americano foram responsáveis pela realização do chamado cálculo balístico, onde nesse período foi utilizado para simular o lançamento de mísseis durante a guerra. Desse modo, como a 2ª GM impulsionou o desenvolvimento científico, surgiu então as primeiras máquinas computacionais que eram gigantes, bastante lentas que utilizavam a linguagem FORTRAN (Fórmula Translation), fazendo basicamente cálculos, que foi um passo importante para o avanço de sistemas avançados e complexos de simulação. Atualmente, segundo Schitcoski (2009), com esse avanço tecnológico computacional atualmente, os sistemas de simuladores bastante realistas têm a função de auxiliar o exército no treinamento dos seus respectivos contingentes.

A Partir disso, posteriormente na década de 50, o desenvolvimento de simuladores computacionais, era feito com gigantes e lentos computadores, sendo algo extremamente caro para a obtenção até a década de 70, de forma que apenas as indústrias de grande porte e universidades que tinham capital para possuir máquinas suficientemente potentes na época.

De acordo com Baladez (2009), no final da década de 70, a indústria automobilística utiliza a simulação de modo mais apurado, sendo implementada para resolver problemas de segurança e otimização da produção, sendo também utilizada no mundo dos negócios. Na década de 90, com o barateamento dos equipamentos, o aumento da velocidade de processamento e a simplificação das ferramentas de desenvolvimento, a simulação tornou-se mais difundida no mundo, sendo responsável pela elaboração de projetos, animações, pesquisas e várias outras aplicações.

Portanto, com o avanço da indústria 4.0, os simuladores têm papel cada vez mais presente dentro do ambiente organizacional. Vários segmentos e setores foram inseridos, trazendo uma simulação realística nestes contextos. Apesar de ser um sistema mais acessível hoje em dia, ainda assim é um fator de um investimento considerável, onde aparece em menor quantidade nos países subdesenvolvidos principalmente em médias e pequenas organizações.

3.1 Objetivos da Simulação

Segundo Vieira (2006), a simulação quando bem realizada e implementada, irá permitir com que o tomador de decisão, possa ter mais confiança e credibilidade na direção a qual está optando, pois a simulação irá permitir com que o mesmo quantifique as probabilidades de

acerto e de erro. Ainda de acordo com Viana (2006), o autor conclui que os objetivos da simulação seriam:

- a) Redução de custos de estoques dimensionando-os de maneira adequada;
- b) Aumentar nos projetos já existentes a sua *performance*;
- c) Garantia de testes em novos projetos antes da sua respectiva implementação;
- d) Atingir um nível excelente de otimização dos recursos disponíveis e do pessoal;
- e) Analisar e prever comportamentos no futuro.

Segundo Gonçalves et al. (2017), assim sendo, na indústria 4.0 a simulação computacional utiliza mais a fundo as informações de toda a planta, analisando em tempo real, atendendo a demanda crescente do mercado, sendo possível ter resultados altamente confiáveis, rápidos e sem excesso de investimentos.

3.2 Aplicabilidade da Simulação

Como dito na introdução deste capítulo, a simulação teve importante papel no contexto de guerra, sendo usado principalmente pela marinha e exército e hoje, serve para simulações de treinamento dos respectivos contingentes. O que se pode analisar a princípio é que os *softwares* de simulação irão reduzir desperdícios, sendo assim, como são dos mais variados tipos, podem ser aplicados em vários segmentos diferentes, principalmente na indústria 4.0, pois no contexto atual fabril, o desperdício é o principal “vilão” a ser combatido.

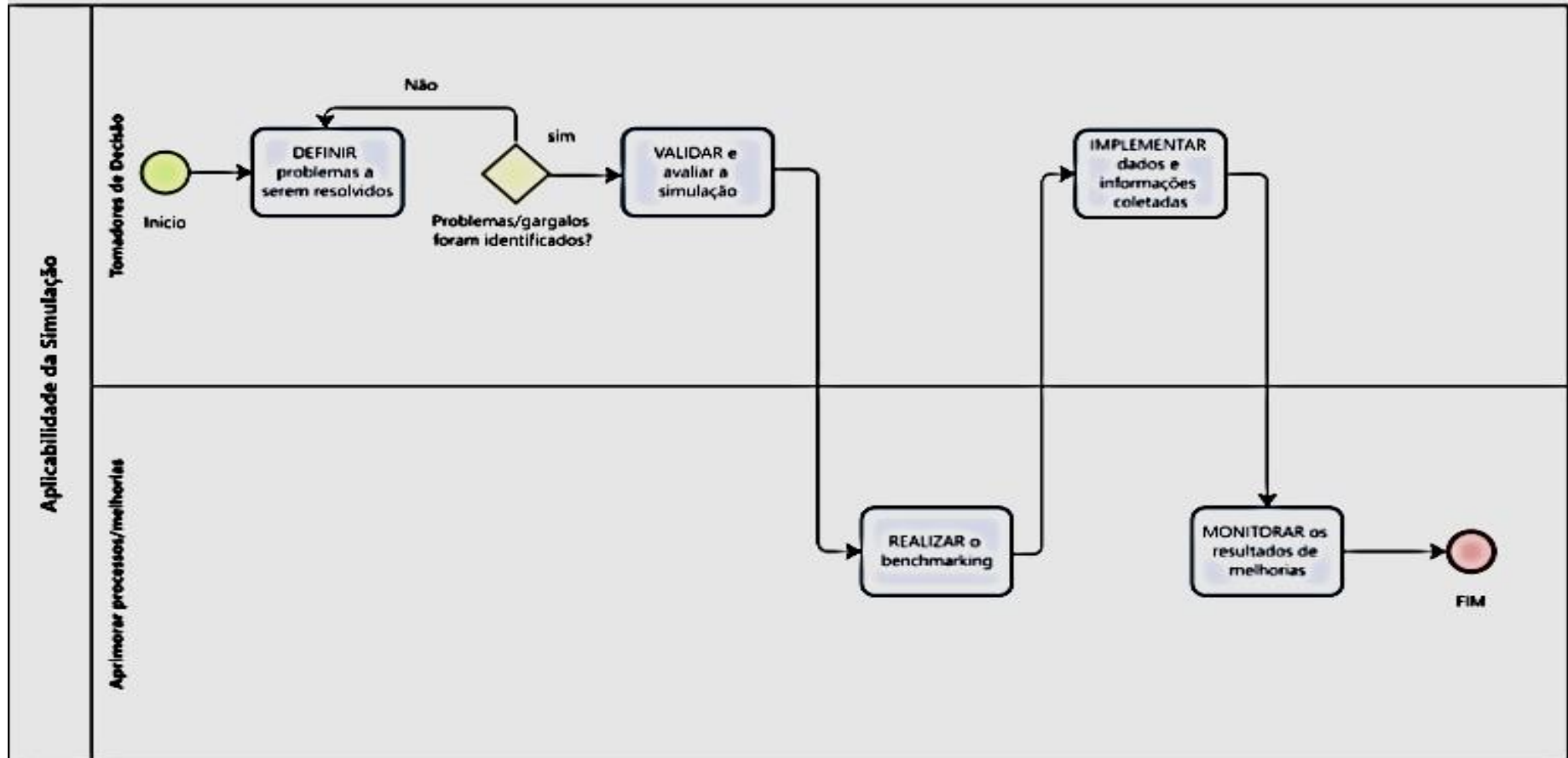
Segundo assim, segundo Pederneiras (2009), o processo de simulação acontece dessa forma:

- a) **Definição de problema:** O passo inicial é saber o que precisa ser melhorado e aprimorado dentro do processo de fabricação. Dessa forma, pode-se analisar o sistema, identificar os gargalos, as variáveis que o rodeiam e as alternativas de solução;
- b) **Validação:** Após a Definição do problema, é necessário construir um modelo que represente o sistema em estudo, escolher um recurso que permita a simulação física ou virtual, simular o sistema de forma a verificar se ele representa a realidade do sistema, para assim verificar neste modelo as possibilidades de soluções e mudanças no modelo real;
- c) **Melhoria:** Olhar para o que as outras indústrias e para as sugestões de soluções internas da fábrica ajudam no aprimoramento do processo, sendo essa prática uma boa contribuinte para encontrar soluções;

- d) **Implementação:** Com todas essas informações coletadas e os melhores resultados realizados através das simulações feitas, é possível escolher quais melhorias serão implementadas;
- e) **Metrificação:** Por fim, é necessário monitorar os resultados da melhoria implementada, para continuar aperfeiçoando o sistema.

Dessa forma, na Figura 16 é possível identificar esse passo a passo da simulação através de um fluxograma, sendo possível perceber a interação entre as partes envolvidas bem como os tomadores de decisão e setor de melhoria contínua.

Figura 16: Fluxograma passo a passo da aplicabilidade da simulação



Fonte: Adaptado de Pederneiras (2009)

A regra para a simulação no contexto industrial é primeiramente, definir hipóteses, testá-las por meio dos *softwares* de simulação, avaliar os resultados obtidos, aperfeiçoar de acordo com as pesquisas de mercado, implementar a melhoria na fábrica e monitorar constantemente. Dessa forma, essa regra auxilia os gestores na tomada de decisão.

3.3 Impactos Positivos e Negativos da Simulação

Várias tecnologias fazem parte do universo da Indústria 4.0, assim sendo, todas as tecnologias que compõem esse universo, oferecem seus impactos positivos e negativos, segundo Schwab (2016) os impactos positivos e negativos estão de acordo com o Quadro 4.

Quadro 4: Impactos positivos e negativos da inserção tecnológica pela I.4.0

Impactos Positivo	Impactos Negativos
Desenvolvimento acelerado de produtos	A perda de trabalho em uma indústria disruptiva
Redução do ciclo projeto-manufatura	A perda de trabalho em uma indústria disruptiva
A fabricação tradicional em massa buscará métodos de redução dos custos e o tamanho dos ciclos de produção	A perda de trabalho em uma indústria disruptiva
Maior personalização dos produtos e fabricação pessoal	Precificação alta de serviços e investimentos altos
Criação de produtos de nicho e fabricação pessoal	Precificação alta de serviços e investimentos altos

Fonte: Adaptado de Schwab (2016)

Em linhas gerais, a abordagem tecnológica da simulação na indústria 4.0, mantém o papel pragmático de absorção do conhecimento prévio das aplicações e atividades que seriam executadas em um plano físico e/ou na prática. Sendo assim, assume um papel positivo no planejamento, desenvoltura e economia dos processos de uma organização.

3.4 Custo-benefício da Simulação

Segundo Bateman et al. (2013), implementar a simulação significa fazer com que as soluções em potencial estejam de acordo com a relação benefício alto e investimentos realizados. Já Gonçalves (2017) alerta para a necessidade de uma análise sobre performance operacional, a qual deve levar em consideração os seguintes aspectos para avaliação de custos:

- a) Benefícios tangíveis;
- b) Benefícios intangíveis;
- c) Diferenças de custo;
- d) Custo final de produto;
- e) Custos com qualidade;
- f) Custo de capital;
- g) Níveis de tecnologia e recursos disponíveis na empresa;
- h) Treinamento e educação necessária;
- i) Custos de inicialização da implantação

Dessa maneira, o objetivo principal da empresa em termos gerais é a minimização de custo e a maximização da produtividade/lucro, com os recursos disponíveis. Em se tratando da simulação, a questão financeira deve ser de certa maneira bem detalhada, pois a implementação e aplicação da mesma, podem gerar custos iniciais relativamente altos, principalmente por se tratar de sistemas onde são integrados *softwares*, *hardwares* e de profissionais capacitados que os operam.

3.5 Digital Twin na simulação Industrial

Segundo Rocha (2022), o *Digital Twin*, é um dos conceitos centrais da chamada Indústria 4.0, pois possibilita a monitoração detalhada e em tempo real do estado de um equipamento durante o seu funcionamento. Assim sendo, o *Digital Twin* representa um importante apoio na garantia de uma tomada de decisão sólida.

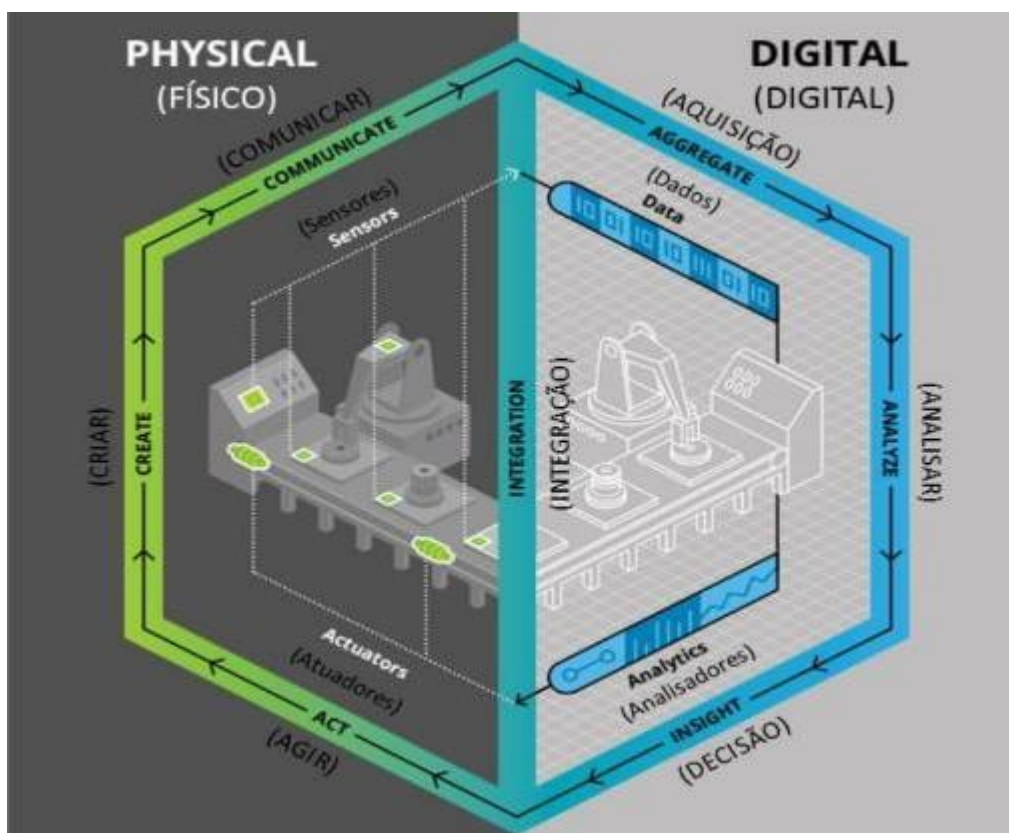
Segundo, Weyer et al. (2016), a importância do digital twin seria como uma das grandes inovações em tecnologias de simulação, otimização e modelação da última década. Ainda de

acordo com Weyer et al. (2016), por meio dessa capacidade do *Digital Twin* de sincronizar uma representação virtual com um equipamento físico real, o mesmo tem a finalidade de auxiliar os operadores nessa monitoração de processos de fabricação complexos.

Tao e Zhang (2017) propuseram o conceito de *Digital Twin shop-floor*, o qual consiste em uma reprodução virtual dessa geometria, também o comportamento e regras de um determinado chão de fábrica. Este *software* de simulação é atualizado em tempo real de acordo com dados relativos às operações envolvidas que são realizadas no chão de fábrica físico. Isto contribui para que o *Digital Twin* efetue tarefas de simulação, avaliação e otimização, além de regular as operações físicas automaticamente conforme for conveniente e necessário.

Para que fique ainda mais claro esse papel do *Digital Twin* no chão de fábrica, a Figura 17 ilustra como esse conceito se encaixa dentro do ambiente físico e digital.

Figura 17: Modelo de processo de produção através do *Digital Twin*



Fonte: Dominguez (2020)

Através da imagem é possível perceber de fato a interação entre as realidades propostas pelo *Digital Twin*. O mundo físico tem a finalidade de comunicação através dos sensores e

atuadores, de modo que o mundo digital tem a finalidade de receber os dados e analisar de forma construtiva uma decisão a ser implementada no mundo físico.

Segundo Souza (2020), de acordo com essa capacidade de atuação dos sensores, na realização de aquisição de dados, a etapa “*Create*” permite a atuação no sistema. A partir daí, na etapa seguinte “*Communication*”, a informação é transmitida ao simulador *Digital Twin*, através de protocolos específicos de comunicação. É necessário então, a realização da integração das etapas física e digital, chamada de “*Integration*”. O passo chamado de “*Aggregate*” realiza a disponibilização dos dados coletados no seu repositório. Em seguida o passo chamado “*Analyze*”, refere-se à capacidade de visualizar a análise da informação processada, seguido dos “*Insights*” que realizam a apresentação dessas informações. Ao contrário dos sensores, os atuadores recebem as informações e atuam, representando o passo chamado “*Act*”.

Segundo Souza (2020), as aplicações e benefícios do *Digital Twin* podem ser aplicadas em diversas áreas além da manufatura, como os setores de comércio, setor de saúde e desenvolvimento de *Smart Cities* (cidades inteligentes). Segundo Parrot (2017), o *Digital Twin* é capaz de realizar análises tanto quanto às otimizações do processo, quanto nas tomadas de decisões, possibilitando pequenos detalhes quanto a manutenção preventiva e auxiliar nos *designs* dos protótipos. De acordo com Negri, Fumagalli e Macchi (2017), os mesmos enumeram importantes contribuições do *Digital Twin*, ao espelhar um gêmeo físico no contexto do processo produtivo, aos quais pode ser citado:

- a) Otimização do comportamento do sistema durante a sua fase de projeto;
- b) Compreendimento do comportamento a longo prazo e predição da atuação do processo de acordo com os fatores externos influenciadores;
- c) Fornecer informações continuamente no decorrer dos ciclos de vida do processo;
- d) Otimização dos ciclos de trabalho do sistema, baseando-se nos estados passados e presentes;
- e) Providenciar a confiabilidade do gêmeo físico;
- f) Monitoramento de deformações no material do gêmeo físico.

Como cada abordagem econômica dentro de diferentes ambientes industriais possui diferentes características, é possível identificar as vantagens relacionadas com a implementação de lógicas de processos de produção como o *Digital Twin*. De acordo com Rohan (2017), na implementação do *Digital Twin*, se baseando nos termos da CAGR (*Compound Annual Growth Rate* - Taxas Compostas de Crescimento Atual), o mercado espera um crescimento em torno

de 37,87%, correspondendo em termos de dinheiro a 15.66 bilhões de dólares até o ano de 2023. De acordo com Singh (2019), o mercado espera que a valorização para 2027 seja de 73,5 bilhões de dólares. Sendo assim, fica possível e claro identificar a importância de instauração de tecnologias que se baseiam no *Digital Twin*, juntamente com as cadeias de valor das empresas do setor de tecnologia. Assim sendo, fica claro que a tecnologia em conceitos de manufatura tem grande contribuição no processo produtivo.

4. MÉTODOS UTILIZADOS PARA ESSA PESQUISA

O objetivo deste estudo é enfatizar a aplicação do *software* de simulação *Digital Twin* dentro do ambiente industrial, bem como suas principais contribuições e dificuldades de implementação.

Em relação à finalidade da pesquisa, esta é classificada como uma pesquisa de caráter aplicada, que de acordo com Fontelles (2009) a pesquisa aplicada, tem como objetivo de proporcionar conhecimento de caráter científico para que possa ser aplicado para sancionar problemas, concretos da vida moderna.

O tipo de abordagem é quali-quantitativa, pois além de buscar o entendimento em profundidade do tema a ser pesquisado, também oferece, devido ao questionário aplicado, dados e informações das amostras coletadas, trazendo uma maior abrangência para a pesquisa.

Quanto à natureza, a pesquisa pode ser considerada como observacional pois segundo Fontelles et al. (2009), nesse tipo de estudo são realizadas coleta de dados, sem realizar intervenções, não tendo mudanças e nem interferências no desfecho. No que diz respeito aos objetivos, o presente estudo apresenta uma pesquisa exploratória-explicativa, estando associada a pesquisa bibliométrica, buscando uma proximidade com o assunto por meio de estudos a respeito do tema, enfatizando sua inserção da indústria 4.0. Posteriormente, será realizada a aplicação de um questionário, trazendo dados e informações que complementam e enriquecem a análise em questão.

Desse modo, os procedimentos técnicos que serão realizados no presente trabalho compreendem: a revisão bibliográfica, a revisão bibliométrica e posteriormente a análise comparativa. Quanto ao desenvolvimento no tempo, a pesquisa tem características seccionais, pois é realizada em um curto espaço de tempo. Assim pode-se analisar no Quadro 5 a classificação e os tipos de pesquisa detalhados:

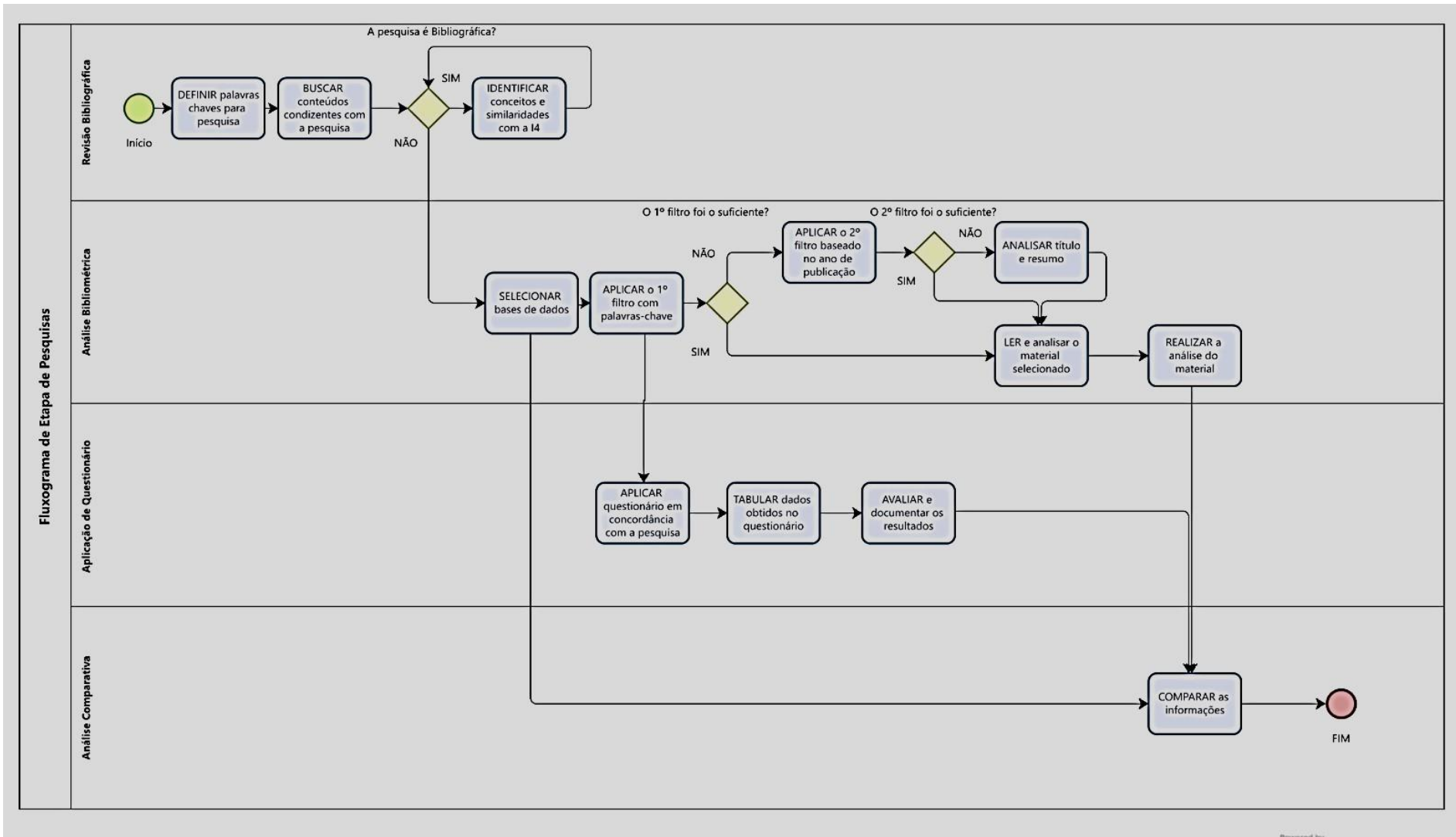
Quadro 5: Classificação e Tipos de Pesquisa do estudo

Classificação	Tipos de Pesquisa
Quanto à finalidade	Pesquisa aplicada
Quanto à natureza	Pesquisa observacional
Quanto à forma de abordagem	Pesquisa quali-quantitativa
Quanto aos objetivos	Pesquisa exploratória- explicativa
Quanto aos procedimentos técnicos	Revisão Bibliográfica Revisão Bibliométrica Aplicação de Questionário
Quanto ao desenvolvimento no tempo	Pesquisa Seccional

Fonte: Adaptado de Fontelles (2009)

Como é possível analisar no Quadro 5 a classificação e os tipos de pesquisa que compreendem este estudo, são detalhados e explícitos de modo a se tornar mais fácil a compreensão das características do estudo. Com base nessas características, pode-se analisar também na Figura 18, como os procedimentos técnicos que fazem parte da composição do trabalho irão dar o direcionamento para execução do estudo proposto.

Figura 18: Fluxograma das etapas dos procedimentos técnicos da pesquisa



O Fluxograma da Figura 18 representa todas as etapas dos procedimentos técnicos necessários para a elaboração da pesquisa. As chamadas “raias” do lado esquerdo do fluxograma exprimem as chamadas Macro etapas e dentro das mesmas, se encontram as Micro etapas. Por meio do fluxograma, é possível visualizar que pesquisa se inicia na Macro etapa chamada de Revisão Bibliográfica, onde as palavras-chave, a busca de conteúdos condizentes com a pesquisa e a identificação de conceitos e similaridades com a I4, são os passos iniciais de direcionamento da pesquisa.

Posteriormente, após a revisão bibliográfica, vem a próxima “raia” ou Macro etapa chamada de Revisão Bibliométrica (ambas são consideradas como Etapa A da pesquisa), onde a mesma tem a finalidade de selecionar as bases de dados da pesquisa. Após essa Micro etapa, tem-se a aplicação dos filtros das palavras-chave e simultaneamente inicia-se também na próxima etapa a aplicação do questionário da pesquisa. Os filtros da Revisão Bibliométrica são aplicados de acordo com as palavras-chave e desse modo, é realizado o primeiro filtro, caso o primeiro filtro seja o suficiente, o material é selecionado e lido, caso o primeiro filtro não seja o suficiente, o segundo filtro será aplicado e assim sucessivamente, até encontrar o material necessário.

Assim sendo, como essa etapa de revisão bibliométrica é simultânea à aplicação do questionário da pesquisa, a terceira Macro etapa (correspondente a Etapa B), irá tabular os resultados e dados obtidos com o questionário e por fim, avaliar os resultados e documentá-los. Desse modo, por último, tem-se a comparação dos resultados obtidos (corresponde a Etapa C) que nada mais é que uma análise do material escolhido na Revisão Bibliométrica, juntamente com os dados e informações coletadas na aplicação do questionário.

4.1 Etapa A - Revisão Bibliográfica e Análise Bibliométrica

A revisão bibliográfica consiste, segundo Santos e Candeloro (2006), como um projeto de pesquisa que tem a finalidade de mostrar as contribuições e estudos acadêmicos, em relação a temas específicos que são abordados por diferentes autores. Dessa maneira, nessa presente etapa, se enquadra a pesquisa dos principais conceitos relacionados às revoluções industriais, proporcionando uma ênfase na mais atual delas que é a chamada Indústria 4.0 ou quarta revolução industrial. A partir daí, o referencial teórico objetivou exemplificar e explicar cada um dos pilares da chamada I4, bem como seus principais conceitos e campos de aplicação.

Posteriormente, foi escolhido um desses pilares como base de estudo que é a simulação, onde neste estudo é aprofundado nas suas principais características,

aplicabilidade, custo benefício e impactos, dando maior embasamento para a aplicação do questionário. Assim sendo, na Análise Bibliométrica, tem a finalidade de examinar de maneira mais específica, qual a participação da simulação como um todo dentro da I4, e posteriormente qual a frequência de uso do *Digital Twin* atualmente, bem como suas principais contribuições e dificuldades de aplicação. Desse modo, a análise foi realizada com base em materiais acadêmicos publicados após 2011, de acordo com a relevância do estudo em relação ao contexto a ser pesquisado.

As principais informações e bases de dados utilizadas na análise bibliométrica compreendem trabalhos acadêmicos pesquisados nas seguintes fontes: *Google Scholar*, *Scielo* e *Web Science*. A seleção dos trabalhos acadêmicos se deu de acordo com a relevância do estudo em questão, onde através das palavras-chave, foi possível identificar os assuntos relacionados.

4.2 Etapa B - Escolha do Método para a coleta de dados da pesquisa

Nesta etapa posterior a etapa de Revisão Bibliográfica e Análise Bibliométrica, vem a escolha do método para a coleta de dados que será realizada em forma de um questionário, a respeito da aplicação da simulação e principalmente do *Digital Twin* dentro do ambiente industrial. Desse modo, o questionário será destinado a empresas que possuem qualquer tipo de simulação no seu sistema produtivo e principalmente empresas que usam o *Digital Twin* como simulador.

O questionário será aplicado por meio do *Google Forms* e terá o objetivo de levantar dados relacionados a sua aplicabilidade, dificuldades de implementação, vantagens e desvantagens, custos, rentabilidade obtida e desperdícios evitados. O questionário será representado por poucas questões abertas, onde os *stakeholders* irão descrever as experiências obtidas na implementação dos *softwares* de simulação e *Digital Twin* e grande parte das questões fechadas, onde irão ser mais específicos e diretos nas perguntas.

4.3 Etapa C - Comparação dos Resultados Obtidos

Por fim, após a aplicação do questionário, tem-se então a análise comparativa, que concerne a comparação do material selecionado na etapa da análise bibliométrica, juntamente com os resultados que foram obtidos com a aplicação do questionário, comparando de certa forma a realidade desses *stakeholders*, em relação aos trabalhos acadêmicos escolhidos.

5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

O material selecionado teve como premissa encontrar a presença da simulação no ambiente organizacional bem como suas contribuições e avanços no setor industrial e demais setores, no intuito de demonstrar como os *softwares* mudaram significativamente o funcionamento de diversos segmentos. Desse modo, a seleção contou com artigos publicados na era da indústria 4.0, ou seja, os artigos selecionados são do ano de 2011 até dezembro de 2022, contendo experiências da aplicação da simulação em si e a presença do conceito chamado de *Digital Twin*. Desse modo, o Quadro 6 mostra quais foram os trabalhos acadêmicos selecionados, bem como o título, fonte, autor e ano de publicação.

Quadro 6: Trabalhos acadêmicos selecionados para pesquisa

Trabalho Acadêmico	Título	Base de Dados	Autor(es)	Ano	Nacionalidade	Instituição
GA1	Análise Técnica, Econômica e socioambiental da Manutenção de estradas não pavimentadas utilizando o <i>Digital Twin</i>	Google Acadêmico (Doutorado)	ARRIVABENI	2021	Viçosa MG - Brasil	UFV
GA2	Otimização de um Sistema Flexível de Fabrico Usando Virtualização num contexto de <i>digital twin</i>	Google Acadêmico (Mestrado)	RUTHERFOR	2020	Brasil / Portugal - Bragança	UFTPR - IP

GA3	Fazenda Inteligente: desenvolvimento de um gêmeo digital para o sistema de irrigação	Google Acadêmico (Mestrado)	ALVES	2021	São Bernardo do Campo - SP - Brasil	FEI
GA4	Utilização da Simulação para tomada de decisões no contexto da indústria 4.0: Uma aplicação inserida no conceito de Gêmeo Digital	Google Acadêmico (Mestrado)	SANTOS	2019	Itajubá - MG - Brasil	UNIFEI
GA5	O Gêmeo Digital na como ferramenta de design na Indústria 4.0: um estudo de caso	Google Acadêmico (Artigo)	MARQUEZ e RENTERIA	2020	Texas - EUA	The twelfth International Conference on Advances in System Simulation
GA6	Gêmeo Digital para Simulação de Sistemas de Fábrica	Google Acadêmico (Artigo)	KEMPURAJ <i>et al.</i>	2019	Índia	Journal of Recent Technology and Engineering (JRTE)

GA7	Modelo Discreto para Processo de Atenção a Pacientes com Covid-19 em UTI (Unidade de Terapia Intensiva) para Controlar a Saturação de Pacientes Implementando Decisões Logísticas	Google Acadêmico (Monografia)	PALACIOS e RODRIGUEZ	2021	Colômbia	UNIVERSIDAD DISTRITAL Juan José Caldas
GA8	Análise de Processos em um Pátio Ferroviário no Porto de Santos Utilizando o Flexsim	Google Acadêmico (Monografia)	NISHIJIMA	2020	Joinville - Brasil	UFSC - Centro Tecnológico de Joinville
GA9	Integration of ROS and Tecnomatix for the development of a <i>Digital Twins</i> Based Decision-Making Systems for Smart Factories	Google Acadêmico (Artigo)	SUELDO <i>et al.</i>	2021	Argentina	IEE Latin American Transactions
GA10	Redesenho das Operações de Sistema de Gestão de Materiais para Melhorar o Desempenho Produtivo do Centro de Distribuição de uma Empresa do Setor de Telecomunicações do Equador	Google Acadêmico (Mestrado)	JARAMILLO	2022	Guayaquil - Equador	Universidad Politecnica Salesiana - Ecuador

GA11	Reforço Profundo de Gestão de Aprendizagem para Sistemas Intra Logísticos	Google Acadêmico (Mestrado)	QUINTANEIRO	2021	Porto - Portugal	Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa
GA12	Uma ferramenta de Otimização Para o Planejamento da Produção: Um Estudo de Caso em uma Indústria Têxtil	Google Acadêmico (Artigo)	FERRO, <i>et al</i>	2021	Campinas - Brasil	Unicamp
GA13	Simulação e Gêmeos Digitais de Processos Operacionais: Estudo de Caso em uma Empresa de Transportes de Cargas	Google Acadêmico (Artigo)	GÓMEZ e FERNADEZ	2022	La Habana - Cuba	Revista Cubana de Administração Pública e Empresarial
GA14	Desenho e implementação de um gêmeo digital em um processo de fabricação automatizado	Google Acadêmico (Monografia)	PÉREZ	2022	Cartagena - Colômbia	Universidad Politécnica de Cartagena
GA15	Estratégias de Agendamento para o Imobiliário	Google Acadêmico (Mestrado)	PIRES	2021	Porto - Portugal	FEUP - Faculdade de Engenharia Universidade do Porto

GA16	Aplicação Integral de Técnicas de Excelência Operacional com Simulação de Eventos Discretos para a Melhora Produtiva em uma Indústria de Cerâmica	Google Acadêmico (Artigo)	HEREDIA <i>et al.</i>	2022	Buenos Aires - Argentina	Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires
GA17	Ferramenta de Manufatura Digital Aplicada em uma Pequena Empresa Produtora de Escovas Industriais	Google Acadêmico (Monografia)	SILVA <i>et al.</i>	2020	São Bernardo do Campo-SP - Brasil	FEI - Centro Universitário
GA18	Un Modelo Digital para Identificación de Restricciones en el Proceso de ensamblaje de motocicletas	Google Acadêmico (Mestrado)	PUERTAS <i>et al.</i>	2021	Barranquilla - Colômbia	Boletín de Innovación Logística y Operaciones
SC1	Modelo de Simulação de Eventos Discretos e Emulação de Sensores para Melhorar uma Rota de Transporte Rural Reduzindo Tempos de Espera	<i>Scielo</i> (Artigo)	BARBOSA, CASTRILLÓN e GARCIA	2022	Manizales - Colômbia	Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y

WS1	Construindo Simulação de Eventos Discretos em Gêmeos Digitais. Aplicação em sistemas de Produção	<i>Web of Science</i> (Artigo)	SAKR <i>et al.</i>	2021	Montreal - Canadá	IEEE - 26th International Conference on Emerging Technologies and factory automation
-----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------	--------------------	------	-------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

- **GA1** - O trabalho de pós graduação cita Uriarte, Ng e Moris (2018), onde os autores exprimem que para que ocorra a implementação do *Digital Twin* e outros procedimentos tecnológicos da era da Indústria 4.0, é necessário de antemão proporcionar uma grande quantidade de investimentos. Além disso, o autor também cita Santos (2019), onde exprime que a questão que o *Digital Twin* ainda é pouco aplicado, tendo abordagens bem iniciais e pouco exploradas, sobre os benefícios que a cercam. Este estudo teve como premissa inicial o processamento de dados via software HDM-4 e como segunda etapa à simulação do *software Símio*, ligado ao conceito do *Digital Twin*. Essa ligação proporcionou melhorar a tomada de decisão no que diz respeito principalmente às estradas sem pavimento, possibilitando um sistema e uma visão mais eficaz, menos superficial e mais robusta em relação ao sistema de gestão rodoviária, englobando partes socioambientais e econômicas e conseguindo soluções tecnológicas.
- **GA2** - No referido trabalho acadêmico, o autor utiliza o *Digital Twin* como um recurso que possibilitou a otimização do processo de manufatura no LCAR (Laboratório de Controle, Automação e Robótica), que possui células *Fischertechnik*. O conjunto de equipamentos necessários foi um robô manipulador, sistemas RFID, controladores PLC, além de outros sistemas que colaboraram para o estudo em questão, tendo a coleta de dados em JAVA. Os dados coletados foram utilizados para a simulação do *software Símio*, ligado ao conceito de *Digital Twin*, que permitiu fazer uma interface entre o meio físico e digital, onde cenários foram processados, para que as possibilidades do sistema de manufatura fossem representadas através do *software*. Desse modo, o DT desenvolvido possibilitou o operador na tomada de decisão dos níveis estabelecidos.
- **GA3** - No trabalho em questão, o autor conhecendo da situação da agricultura mundial, onde irá aumentar 50% da sua produção dentre 2012 até 2050, cita que apesar desse

aumento produtivo, há a consciência de redução do consumo de água, já que essa atividade agrícola corresponde a 69% da água doce consumida no mundo. Desse modo, o autor descreve o conceito das chamadas *Smart Farms* que seria, no caso, Fazenda Inteligente, onde corresponde à implementação de vários conceitos dentro da I.4.0, no ambiente rural, como *Big Data*, *IoT*, dentre outros, proporcionando todo um monitoramento não só da parte agrícola, mas também de máquinas, equipamentos e processos. Assim sendo, conhecendo dessa realidade, o mesmo procurou em seu trabalho, simular um sistema de irrigação, que seja funcional durante a safra inteira, utilizando o *software Plant Simulation* da *Siemens*, ligado ao conceito de *Digital Twin*, para simular o sistema em uma plataforma digital antes da sua implementação. Desse modo, o autor conclui que houve uma série de vantagens no desenvolvimento do gêmeo digital, sendo válida a sua implementação, também sendo necessária a implementação no meio físico, de modo a avaliar o funcionamento do sistema.

- **GA4** - No referido trabalho acadêmico, o autor tenta responder se é possível a implementação do *Digital Twin* em um processo com baixo grau de automatização, e assim sendo, o autor propõe um método para condução do projeto de simulação se mostrando no final ser possível. O autor cita que a implementação da utilização do *Digital Twin* é pouco explorada em trabalhos científicos, e faltam exemplos práticos, a fim de se ter uma certeza de quais os benefícios seriam possíveis de acordo com a sua utilização bem como seus obstáculos e desafios. O objetivo era de que o estudo possibilitaria o abastecimento dos materiais em postos *kanban* dispostos na linha de produção de uma indústria do ramo da aviação. Desse modo, o autor constatou que por meio da simulação de eventos discretos, de uma interface intermediária e os dados provenientes do ERP, era possível fazer as simulações por meio do *software Flexsim*. O autor constatou que com o *software* outras rotas de abastecimento foram simuladas e conseqüentemente houve uma redução de 20% em relação aos transportes desnecessários, além é claro de uma melhor tomada de decisão por parte do gestor.
- **GA5** - No referido artigo, os autores implementaram o *Digital Twin* em uma empresa de manufatura de montagem nos EUA, que está em processo de implementar as tecnologias presentes na indústria 4.0 no chão de fábrica, onde algumas operações da empresa serão substituídas por robôs de pintura. A utilização do *software Simio* se deu pela facilidade de se conectar *online*, recebendo dados dos *softwares MES e ERP*, além é claro de oferecer quatro paradigmas de SED referentes aos sistemas de fila. O estudo teve foco no número total dos produtos de acordo com o tamanho do *buffer* que já é

pré-estabelecido para área de pintura, usado para fins de *design*. Assim sendo, os autores constataram que um *buffer* limitado ajuda a controlar o estoque, além de mensurar a influência desses robôs de pintura antes da sua implementação. Foi constatado também quantas peças são produzidas em relação ao tamanho do *buffer*, obtendo assim um maior controle e uma melhor tomada de decisão.

- **GA6** - No referido trabalho acadêmico, os autores implementaram o *Digital Twin* em uma fábrica, com o intuito de manter o modelo de fabricação atualizado constantemente e simulado em tempo real, se baseando em um sistema de PLM que nada mais é do que o gerenciamento de ciclo de vida do produto. A simulação foi realizada então na empresa de engenharia Albuquerque & Lelièvre-Berna, em quatro fases, sendo: Monitoramento das máquinas; Movimentos da empilhadeira; Gerenciamento de Restrições; Posição e Orientação do ativo, sendo realizada através da implementação de dispositivos eletrônicos como: *plugs*, RTLS (Tecnologia de detecção de localização em tempo real), RFID, dentre outros. Assim sendo, os autores constataram que houve uma significativa melhora na aplicação do *Digital Twin*, obtendo uma redução dos tempos dessas quatro fases em mais de 95% em relação aos tempos antigos, sendo utilizado o *software Plant Simulation* para o esboço do cenário.
- **GA7** - O presente artigo, teve como objetivo obter por parte dos autores, uma melhor logística dentro dos centros de UTI, com o intuito de reduzir os tempos de espera do paciente e otimizar a logística dos Hospitais. Os autores relataram que na época do estudo em questão, a Colômbia era ranqueada como a 14^a nação do mundo que mais morreram pessoas por conta do COVID, com tendência a aumento. Desse modo, os autores desenvolveram baseados na análise de eventos discretos e se baseando em relatórios de entidades oficiais, um modelo que fosse capaz de controlar a saturação desses pacientes. A utilização do conceito de *Digital Twin* se deu através do *software Simio*, e os resultados alcançados foram uma melhora de aumento na observação médica, acolhimento, realização dos exames, na triagem dos pacientes, além de diminuir a utilização dos leitos.
- **GA8** - A autora teve como objetivo oferecer a um pátio ferroviário no porto de Santos - SP, recursos que ofereçam uma melhor logística de operação de carregamento. A autora utilizou o conceito de *Digital Twin* ao aplicar o *software Flexsim*, onde a mesma cita que o *software* tem uma plataforma de fácil acesso e manuseio além de ser flexível para possíveis alterações, sendo possível constatar através da autora que através do estudo a mesma obteve uma viabilidade do projeto de reconstrução do pátio ferroviário,

analisando diferentes cenários e identificando possíveis gargalos, sendo importante na aplicação de melhorias.

- **GA9** - Os autores aplicaram um sistema de *Digital Twin*, utilizando o *software TPS (Tecnomatix Plant Simulation)* em conjunto com o ROS (*Robot Operating System*), onde os robôs atualmente se encontram muito presentes no setor industrial (chamada de robótica colaborativa, sendo citada por alguns autores, como um dos pilares da indústria 5.0). Desse modo, os autores propuseram um sistema de manufatura e manuseio de materiais, buscando minimizar as distâncias percorridas, a utilização de meios de transporte e atrasos na entrega, ou seja, a busca pelo modelo proposto foi de otimizar esse processo logístico da empresa. Foi possível criar e integrar o que se chama de Sistemas Autônomos de Tomada de Decisão (SATDD), baseado no algoritmo *Q-learning* com um *Digital Twin*, um dos responsáveis e um dos pilares dessa criação, também responsável por otimizar a produção em nível global do sistema de fabricação e na utilização de recursos. Essa integração se concretizou devido a comunicação em tempo real com as partes do processo, tendo a interação com outros *Hardware*s.
- **GA10** - No referido trabalho acadêmico, o autor busca redesenhar o sistema de gestão da empresa Conecel cuja marca pertence ao nome da Claro, sendo uma empresa prestadora de serviços na área de telecomunicações com posse da América Móvil, sediada no México. Assim sendo, o autor aplica o conceito de *Digital Twin*, utilizando o *software Simio* na busca de implementar a solução para o sistema de *Picking* (preparação de pedidos) e *Packing* (empacotamento) da empresa, pois a mesma enfrentava problemas quanto a agilidade, assertividade de pedidos, mal atendimento ao cliente e danos nos produtos. Dessa forma, o autor enaltece as melhorias e que a aplicação do *software* foi uma ferramenta importante no que diz respeito a tomada de decisão.
- **GA11** - No referido trabalho acadêmico, o autor elabora um sistema de simulação no *software Simio* baseado no algoritmo *Q-learning* e no conceito de *Digital Twin*, que possibilitou otimizar o controle, o transporte dos produtos, a redução de ociosidade por parte do maquinário e reduzir os custos. O autor cita o JSSP (*job shop schedule problem*), onde as máquinas trabalham de forma não sequencial e o FSSP (*flow shop schedule problem*), onde o trabalho flui pelas máquinas de forma sequencial. Desse modo, o autor conclui que todos os resultados se mostraram positivos e satisfatórios, que possíveis questões podem ser melhoradas, e que colaborou para tomada de decisão.

- **GA12** - No referido artigo, os autores implementam em uma indústria têxtil uma solução para otimizar o processo de planejamento da produção das tecelagens, correspondentes a uma média de 7.500kg de tecido por mês. O conceito de *Digital Twin* foi aplicado através do *software* de simulação *Plant Simulation*, que foi aplicado durante os meses de maior demanda por parte da empresa, que correspondem aos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Maio, onde a produção acaba excedendo a média dos 7.500kg produzidos. Dessa forma, houve por parte dos autores uma constatação de que a aplicação do *software* possibilitou mostrar uma economia significativa de custos na alta temporada. O autor define que a simulação realizada possibilitou uma redução do tempo da produção quando utilizado de forma a apoiar o sequenciamento da produção dos tecidos, aumentando a tomada de decisão.
- **GA13** - No referido trabalho, os autores apresentaram um estudo de caso da empresa EMCI (*Empresa Mensajeria y Cambio Internacional*) pertencente ao grupo empresarial de correios, pautada em serviços de correspondências internacionais. Durante o período de pandemia da COVID-19, os pedidos e conseqüentemente a demanda do serviço prestado, fez com que a empresa tivesse de adotar novos mecanismos de otimização das suas atividades, tendo como intuito a redução de tempo desde a sua chegada ao porto chamado de “Mariel” e sua chegada ao destino. Assim sendo, os autores por meio do *software ARENA* desenvolveram um sistema de simulação da planta e constataram que os experimentos obtiveram resultados interessantes, permitindo a otimização do processo.
- **GA14** - O autor aplica seus conhecimentos na empresa BINARII Engenharia de Automação, utilizando o conceito de *Digital Twin*, aplicado o *software Plant Simulation* para otimizar uma linha de envase (engarrafamento) de fertilizante agrícola. O autor concluiu após os testes realizados em sua pesquisa que o *Plant Simulation* é adequado para a criação de modelos dinâmicos auxiliando na otimização e no planejamento de processos novos, na criação de novas linhas, tipos de produtos, projetando recursos e se produzindo de uma forma mais robusta e consciente, com menos custo e desperdícios.
- **GA15** - Na referida pesquisa, o autor implementa uma solução em uma empresa do setor moveleiro, onde existe uma extensa variedade de produtos na linha de montagem, além das demandas variáveis de acordo com as épocas do ano. Sendo assim, o objetivo real no caso seria a de maximização da produtividade e minimização do *makespan*. Desse modo, os autores implementaram o *software Flexsim*, (integrado ao conceito de

Digital Twin) acoplada ao *OptQuest*, que puderam trazer resultados significativos, sendo possível testar diferentes cenários distintos e escolher a melhor opção, sendo alcançar uma sequência de 29% maior em relação a produtividade. Assim sendo, o *Flexsim* possibilitou simular o sequenciamento e trouxe a melhoria na tomada de decisão.

- **GA16** - No referido trabalho, os autores aplicaram em uma empresa multinacional do ramo de cerâmica, localizada aos arredores de Buenos Aires, que comercializam e produzem revestimentos de porcelana, cerâmicas e ladrilhos. O principal ramo é a produção de porcelanato, onde detém uma maior parcela de rendimentos e melhor participação do mercado, tendo como foco do estudo a melhoria e otimização do processo. A aplicação do *software Flexsim* (conceito de *Digital Twin*), fez com que as simulações fossem realizadas, oferecendo à empresa resultados mais convincentes e otimizados, sem colocar em risco a produção atual.
- **GA17** - No referido trabalho, os autores buscam como objetivo na empresa Abrasfer Escovas Industriais, a validação da linha de produção, tendo em vista oportunidades de melhoria e a busca do melhor cenário manipulado, de modo a otimizar a produção. Assim sendo, os autores utilizaram o *software Plant Simulation* (integrado ao conceito de *Digital Twin*), que ofereceram a eles uma administração mais assertiva da planta, fomentada pelos fatos e dados em tempo real, apoiando a tomada de decisão.
- **GA18** - No referido trabalho, o autor aplicou em uma empresa de montagem de motocicletas o conceito de *Digital Twin* ao aplicar o *software ARENA* para otimizar a linha de montagem. Assim sendo, o autor conclui que com essa simulação realizada pelo *software* possibilitou a eles, ter uma melhor visualização dos detalhes, além da possibilidade de detecção de erros nos postos de trabalho de forma mais ágil com um custo menor. O autor recomenda o uso do *software* pois auxilia a empresa a atender às suas necessidades da planta com maior eficiência.
- **SC1** - O presente trabalho, teve como objetivo testar ferramentas disponíveis na indústria 4.0, de modo a oferecer uma melhoria no sistema de transporte rural entre os municípios de Cajamarca e Anaime, importante pela questão econômica da região. Assim sendo baseados nesse conceito, os autores utilizaram o *software Flexsim*, simulando um *Digital Twin*, sendo possível constatar que foi que os resultados obtidos foram satisfatórios, que a junção do *software*, do sistemas de sensores, e de uma lógica de dados, a simulação pode oferecer uma redução de 60% nos tempos de espera.

Portanto, a junção desses fatores, e a comunicação de dados em tempo real, fizeram com que o transporte ali da região mencionada fosse otimizado.

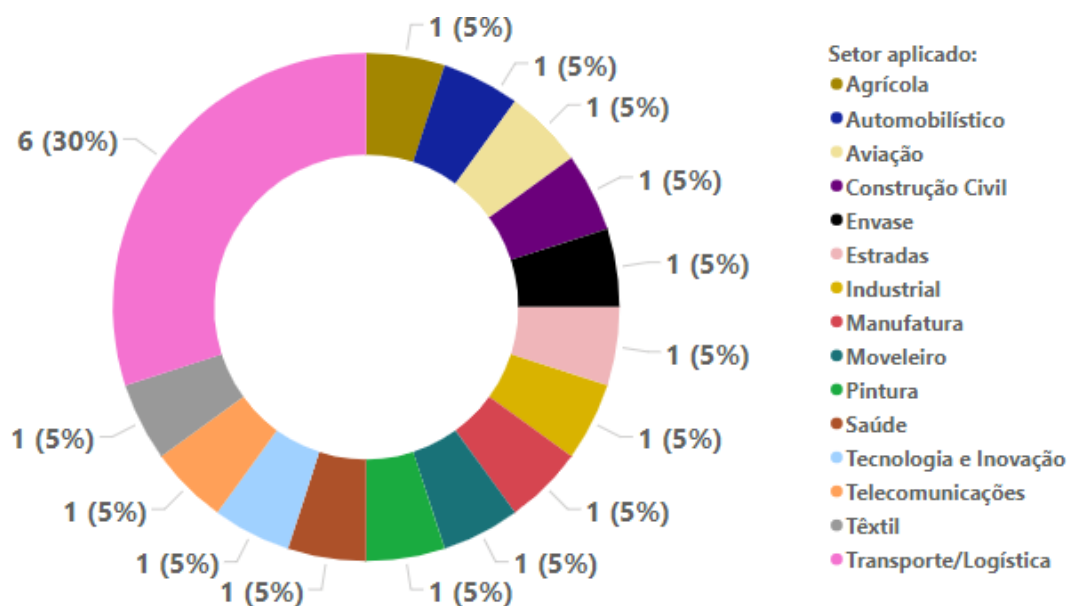
- **WS1** - Os autores aplicaram em um sistema de fabricação de semicondutores, que nada mais é que a fabricação de *chips*, sendo presente nos dispositivos elétricos. Os *wafers* (*chips*) são produzidos normalmente por um ciclo repetitivo que tem vários processos e os lotes são processados de acordo com cada tipo de máquina, existindo diferentes tipos, alguns com a mesma fórmula, outros com apenas um lote e outras com apenas um número determinado de *wafer*. Sendo assim, foi necessária uma estruturação do banco de dados, a construção de uma SED (Sistemas de Eventos Discretos), utilizando o conceito de *Digital Twin* e utilizando o *Software Arena* na construção de um pré-processamento de dados no apoio à construção do modelo. Os autores aplicaram uma camada de integração fornecendo recursos de: inicialização de estado e reconfiguração, assim sendo, o *software Arena* recebe os arquivos e executa a simulação, analisando o tempo de fila para as configurações dos equipamentos em concordância com as suas atualizações, inicializando ou começando vazio. Portanto, o *Digital Twin* aplicado a outros recursos complementares, realizou a simulação e otimizou o processo, além é claro da melhora na tomada de decisão.

É possível constatar diante da análise bibliométrica, que os *softwares* de simulação, hoje em dia, estão muito presentes em vários segmentos distintos, sendo um importante aliado na busca de melhorias e otimização, pois permite ao tomador de decisão simular vários cenários buscando aquele que melhor se encaixa às necessidades da organização. Assim sendo, percebe-se que para que a simulação aconteça é necessário integrar vários componentes tecnológicos, como sensores e atuadores, controladores, informações de *softwares* como o *ERP*, o *IoT*, *IIoT* e sistemas Cyber-Físicos por exemplo para que a comunicação seja dinâmica, funcional e em tempo real, só assim é possível fazer com que a simulação seja realizada da forma mais real possível. Desse modo, muito dos pilares da Indústria 4.0 são de grande importância para a simulação

Assim sendo, pode-se constatar também pela análise bibliométrica, que apesar de recente e pouco explorada, e que requer investimentos na área conforme citado por Santos (2019), como dito anteriormente nos trabalhos de código GA1 e GA4, por exemplo, percebe-se que muitos países subdesenvolvidos como: Brasil, Índia, Colômbia, Argentina, Equador e Cuba, tem adotado medidas atuais no que diz respeito aos recursos disponíveis na Indústria 4.0. A seguir, será mostrado toda a análise feita de forma minuciosa através dos gráficos feitos pelo *software Power BI*, em decorrência dos dados coletados de acordo com os trabalhos

selecionados. Dessa forma, os dados recebidos foram tratados através do *Excel*. (o *Dashboard* de apresentação será desmembrado, tornando o entendimento de forma mais clara e objetiva, com explicações de todos os gráficos gerados).

Gráfico 1: Contagem da aplicação dos *softwares* em relação aos setores:

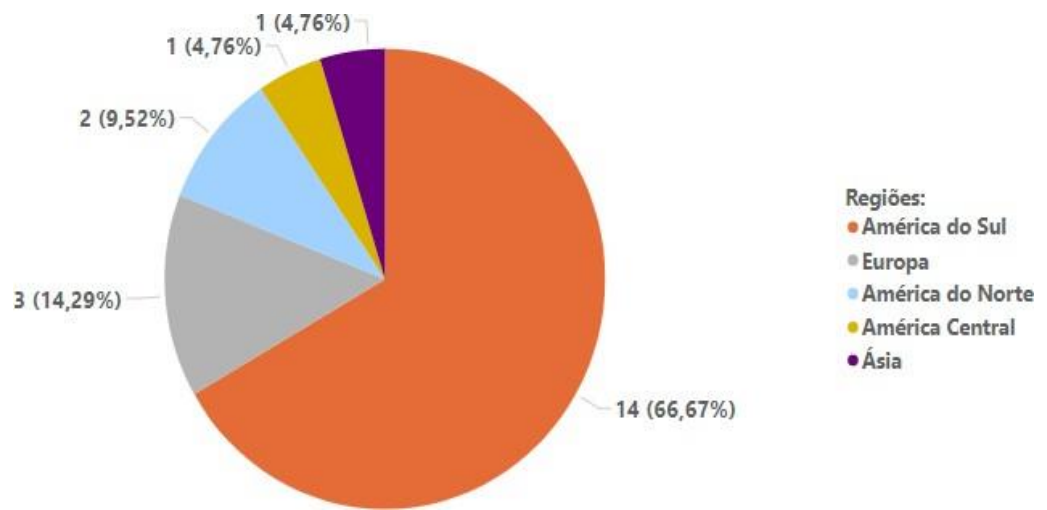


Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

No Gráfico 1, é possível analisar que há a empregabilidade da simulação/ Digital Twin em vários segmentos distintos. Assim sendo, é possível perceber pelo gráfico, que o setor mais buscado em relação a otimização e melhoria é o setor de Transporte/Logística, correspondendo a um percentual de 30% do material selecionado.

Dando continuidade na análise, é perceptível através das obras acadêmicas selecionadas, constatar que a participação da América do Sul foi de certo modo surpreendente e muito satisfatória, pois corresponde a maior parte dos trabalhos acadêmicos selecionados, provando que muitos países considerados subdesenvolvidos, têm implementado soluções atuais e investido em novas tecnologias, como é possível visualizar no Gráfico 2.

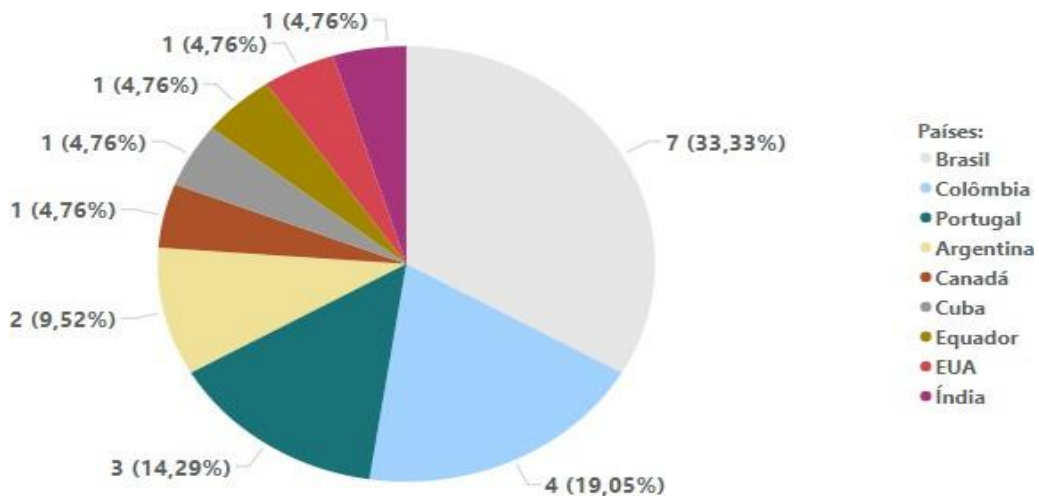
Gráfico 2: Regiões delimitadas e o total por região



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

Percebe-se, portanto, que há a contagem de 21 trabalhos, diferente do que foi apresentado acima, que seriam 20. Isso se deve ao fato que o trabalho GA2, possui dois países (Portugal/Brasil), então pode-se dizer que a contagem foi para ambas as partes. Dessa maneira, América do Sul corresponde a 66,67% dos trabalhos totais, selecionados, sendo ao todo 14 deles. A próxima análise, mostra qual é a participação individual de cada país em relação ao todo.

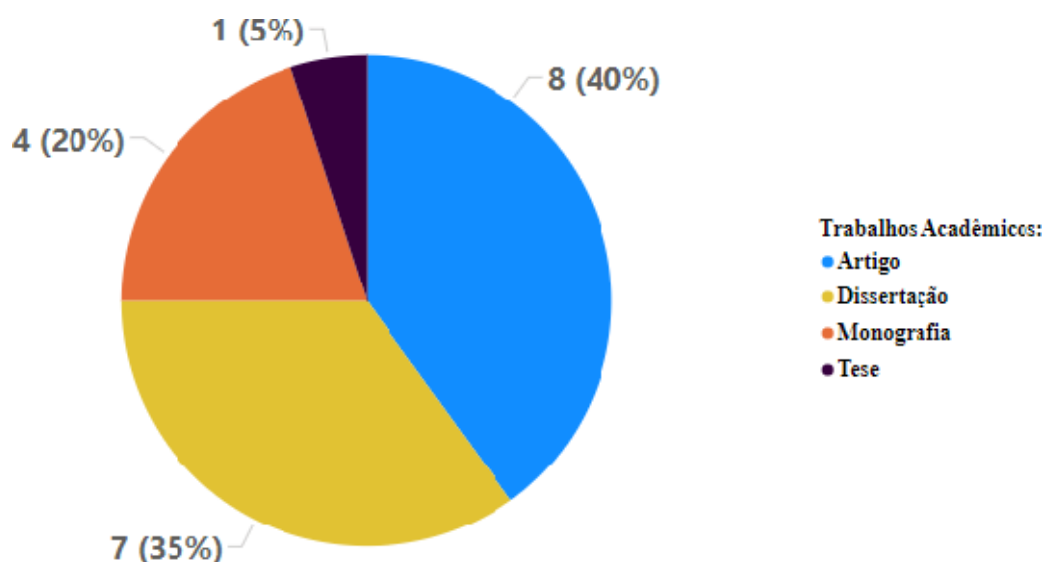
Gráfico 3: Trabalhos encontrados por países



Fonte: Elaborada pelo autor (2023)

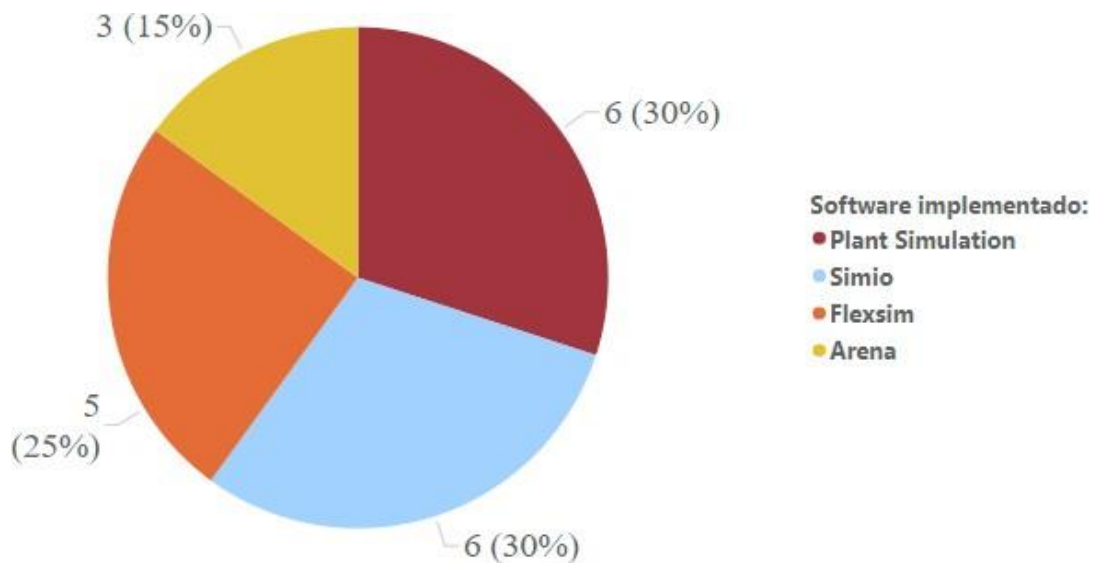
Ao analisar a Figura 3, constata-se que metade dos trabalhos acadêmicos encontrados em países que abrangem a região da América do Sul, por exemplo, corresponde ao Brasil, tendo um total de 7 dos 14 artigos relatados da região em análise (correspondendo a 50% da América do Sul e 33,33% do total), seguido por Colômbia com 4, Argentina com 2 e 1 do Equador. A análise seguinte diz respeito aos tipos de trabalhos que foram selecionados na pesquisa acadêmica (artigo, monografia, dissertação e tese), foram selecionadas:

Gráfico 4: Tipos de trabalhos acadêmicos selecionados



No Gráfico 4 é perceptível analisar que o tipo de trabalho acadêmico mais selecionado para a pesquisa foram os artigos, que correspondem a 40% do que foi coletado para a pesquisa em questão, seguido pelos trabalhos de dissertação de mestrado que correspondem a 35%. A análise seguinte, diz respeito a quantidade de *softwares* que foram utilizados em relação aos trabalhos selecionados.

Gráfico 5: Total dos *softwares* encontrados no material selecionado



Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2023)

Como é possível analisar neste novo gráfico, os *softwares* que mais foram utilizados mediante os trabalhos selecionados, foram: o *Plant Simulation*, com 30% junto com o *Simio* que também corresponde a mesma porcentagem, como é possível visualizar na imagem, em seguida tem-se o *software Flexsim*, correspondente a 25% do todo e por fim o *Arena*, que corresponde a apenas 15% dos trabalhos. Nota-se que no trabalho GA2, que apesar de ter sido elaborado por dois países (Brasil/Portugal), corresponde a apenas um trabalho e apenas uma contagem nessa comparação, ou seja, tem-se a contagem de apenas um *software Simio*, que foi o utilizado no referido trabalho.

5.1 Digital Twin e suas aplicabilidades

De acordo com os trabalhos acadêmicos citados anteriormente, e a presença de seus respectivos *softwares* baseados no *Digital Twin*, como é o caso do *Simio*, *Plant Simulation*, *Flexsim* e *Arena*, é possível notar o quão eles foram importantes e trouxeram resultados satisfatórios em sua aplicabilidade. Segundo Watanabe (2019), para cada tipo de solução oriunda do campo tecnológico, baseada no *Digital Twin*, tem-se a listagem de seus possíveis representantes. Desse modo, como pode-se observar no Quadro 7 existe o mapeamento dessas soluções tecnológicas baseadas no *Digital Twin* e seus possíveis fornecedores.

Quadro 7 : Representantes de fornecimento atual e seus *softwares* para *Digital*

Twin

<i>Software</i>	Características	Fornecedor
<i>Siemens Plant Simulation e Process Simulate</i>	Simulação de eventos discretos com aplicação em processos complexos e dinâmicos.	<i>Siemens</i>
<i>Flexsim</i>	Simulação que integra tecnologia de realidade virtual e simulação orientada a objetos discretos. Ferramenta para modelagem, análise, visualização 3D e otimização de processos de manufatura.	<i>Flexsim Software Products</i>
<i>Arena</i>	Simulação de eventos discretos com facilidade de navegação, programação dos parâmetros, bons relatórios. Muito utilizado no meio acadêmico.	<i>Rockwell Automation</i>
<i>Simio Simulation Software</i>	Simulação de eventos discretos. Facilidade de navegação, bons relatórios, programação dos parâmetros	<i>Simio</i>

Fonte: Adaptado de Watanabe (2019)

Como se pode concluir, ainda de acordo com Watanabe (2019), os *softwares* foram devidamente utilizados, buscando entender cada uma de suas funcionalidades, características e a sua capacidade. Também foi analisada e avaliada de acordo outros fatores técnicos, como por exemplo a emissão de relatórios dos dados ali presentes durante a simulação. Desse modo, os Quadros 8, 9, 10 e 11 possibilitam a um melhor entendimento de como foi realizada essa avaliação e a nota final atribuída a cada um dos *softwares*.

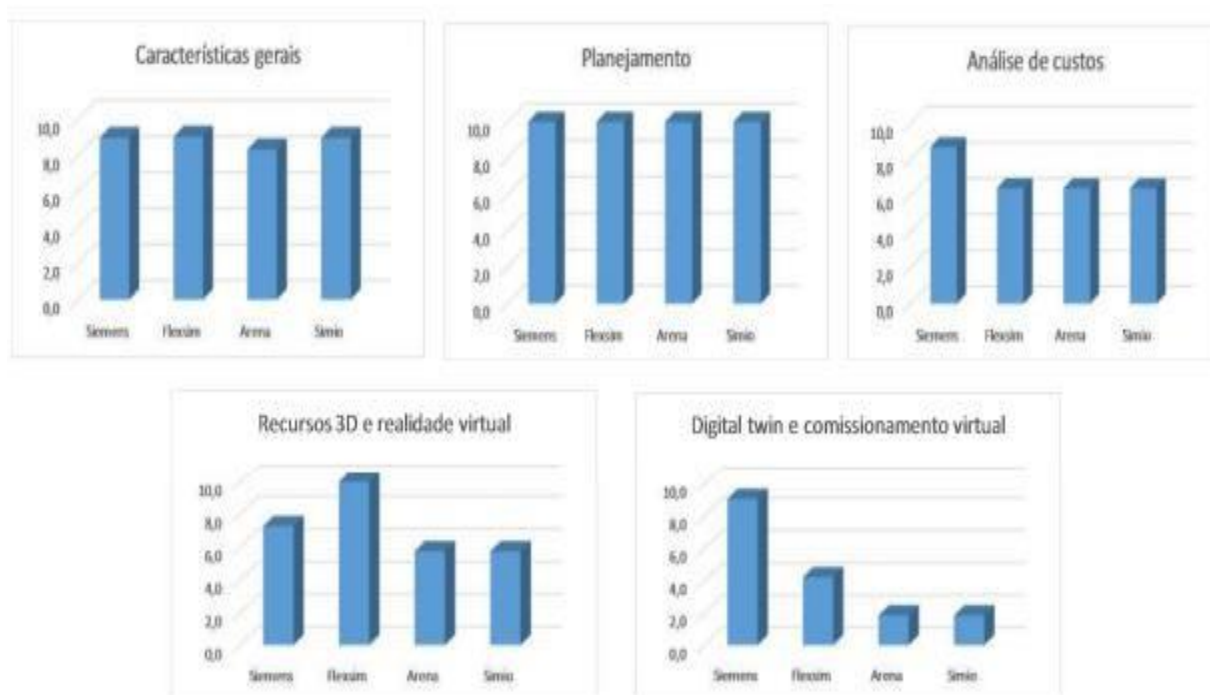
Quadro 8: Ferramentas do Digital Twin e sua matriz decisão

Função: Digital Twin														
Critérios	Grupo	Peso	Concepção											
			Siemens			Flexsim			Arena			Simio		
			Atendimento ao critério	Nota	Nota x Peso	Atendimento ao critério	Nota	Nota x Peso	Atendimento ao critério	Nota	Nota x Peso	Atendimento ao critério	Nota	Nota x Peso
Facilidade de Modelamento	Características gerais	3	Alta	9	27	Muito Alta	10	30	modelagem por fluxograma	8	24	modelagem por fluxograma - 3D nativo	9	27
Facilidade de navegação no SW	Características gerais	3	Alta	8	24	Muito Alta	10	30	sim, não necessita linguagem programação	10	30	sim, não necessita linguagem programação	10	30
Facilidade de acionar Assistência Técnica	Características gerais	4	Suporte por telefone, email, acesso remoto. Acesso ao Gtac (portal Siemens)	9	36	Telefone, e-mail e fórum. Manual e software em tradução.	8	32	sim e-mail e telefone, em português	8	32	sim e-mail e telefone, em português	8	32
Qualidade dos relatórios	Características gerais	3	Os relatórios do Plant Simulation são baseados em Excel ou HTML, dependendo do tipo de função. Os relatórios em HTML pode ser totalmente customizados, adotando qualquer formato desejado.	10	30	Dashboard, Experimenter, Tabelas, Exportação, ExpertFIT, OptQuest geram outputs.	10	30	sim - Excel	8	24	sim - Excel	8	24
Importação de arquivos 2D (compatibilidade com AutoCAD)	Características gerais	4	São suportados arquivos DWG e diversos arquivos de imagem para serem utilizados como plano de fundo nos modelos 2D.	9	36	Compatível	8	32	Bitmap, Jpeg	8	32	Bitmap, Jpeg	10	40
Permitir alterações no número de máquinas, operadores, entre outros;	Planejamento	5	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50
Permitir a avaliação da taxa de utilização dos recursos (operadores, máquinas).	Planejamento	5	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50
Permitir a avaliação do tamanho e tempo de filas;	Planejamento	5	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50
Permitir a avaliação de Work In Process	Planejamento	5	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50	Sim	10	50
Permitir a avaliação de tempos de transporte interno.	Planejamento	4	Sim	10	40	Sim	10	40	Sim	10	40	Sim	10	40
Recursos de otimização dos resultados de simulação	Planejamento	5	Algoritmos Genéticos, Redes neurais e Lógica Fuzzy para otimização de parâmetros do sistema	10	50	O FlexSim é integrado ao OptQuest, mecanismo de otimização em simulação	10	50	Utiliza o optquest	10	50	Utiliza o optquest	10	50
Importação de arquivos 3D (formatos suportados, compatibilidade Sketchup e SolidWorks)	Recursos 3D e realidade virtual	4	São suportados arquivos JT, Parasolid, Step, Iges, Catia V4, AutoCAD, Microstation, nuvem de pontos, entre outras extensões. Modelos SolidWorks e SketchUp são diretamente suportados através de conversão para a extensão VRML.	5	20	Catia, Solidworks, AC3D, ProEng, Sketchup e outros software de engenharia 3D	10	40	sim	8	32	sim	8	32
Qualidade dos recursos 3D, facilidade de modelamento em 3D	Recursos 3D e realidade virtual	3	Boa	8	24	Bons recursos, maior facilidade de uso	10	30	Boa	8	24	Boa	8	24
Recursos de animação 3D	Recursos 3D e realidade virtual	3	Sim	10	30	Sim	10	30	Sim	10	30	Sim	10	30
Recursos de realidade virtual	Recursos 3D e realidade virtual	5	É possível integrar com óculos de realidade virtual	7	35	É possível integrar com óculos de realidade virtual. Maior facilidade de uso	10	50	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0
Permitir a avaliação do custo dos recursos	Análise de custos	5	Sim	9	45	Sim	9	45	Sim	9	45	Sim	9	45
Permitir a avaliação de consumo energético	Análise de custos	2	Sim	8	16	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0
Integração com sistemas externos	Digital twin e comissionamento virtual	5	Arquitetura de sistema aberta que oferece suporte a várias interfaces e recursos de integração (ActiveX, CAD, Oracle SQL, ODBC, XML, Socket etc.)	10	50	Permite conexão com base de dados e/ou Excel	7	35	O Arena tem integração nativa com toda a plataforma Rockwell	7	35	O Simio tem integração nativa com toda a plataforma Schneider Wonderware	7	35
Simulação de cinemática de robôs	Digital twin e comissionamento virtual	5	Sim, através da ferramenta Process Simulate	9	45	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0
Simulação de tarefas humanas e ergonomia	Digital twin e comissionamento virtual	4	Sim, através da ferramenta Process Simulate	8	32	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0
Emulação de CLP	Digital twin e comissionamento virtual	5	Sim, através da ferramenta Process Simulate	9	45	Sim	9	45	Informação não encontrada	0	0	Informação não encontrada	0	0
SOMA			785			719			598			609		
MÉDIA			9,0			8,3			6,9			7,0		
RANKING			1º			2º			4º			3º		

Fonte: Watanabe (2019)

Como se pode analisar nos Quadros 8, os dois *softwares* que obtiveram as maiores pontuações dentre os critérios pré estabelecidos, foram o *software* da *Siemens* e o *software* da *Flexsim*. Ainda de acordo com Watanabe (2019), os critérios analisados foram divididos em cinco categorias, sendo elas: Características gerais; Planejamento; Análise de Custos; Recursos 3D e realidade virtual, e por último *Digital Twin* e comissionamento virtual. Desse modo, para cada uma dessas cinco categorias, há de fato um *software* que se sobressai ao outro de acordo com o seu foco e especialidade. Assim sendo, o Gráfico 6, ressalta-se a classificação dos *softwares* em questão juntamente com suas notas, em cada uma das cinco categorias mencionadas.

Gráfico 6: Avaliação dos *Softwares* por categorias mencionadas



Fonte: Watanabe (2019)

No Gráfico 6, é possível observar que a *Siemens* conseguiu um melhor desempenho nas categorias de um modo geral, e principalmente na categoria de *Digital Twin* e comissionamento virtual, sendo importante fator contribuinte para a pesquisa. Desse modo, também, o *software* *Flexsim* conseguiu uma maior pontuação no que se diz aos Recursos 3D e realidade virtual, sendo também um fator importante para divulgação e demonstração da parte visual da simulação.

5.2 Desafios para o *Digital Twin* dentro das Referências

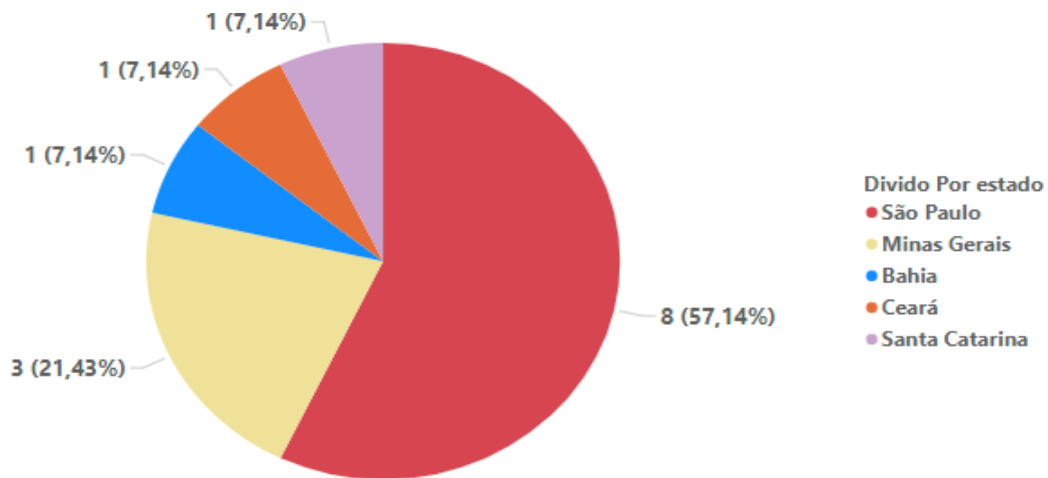
Nos trabalhos acadêmicos, selecionados, grande parte dos desafios encontrados foram justamente a mudança radical na organização, forçando-a a mudar drasticamente no que diz respeito aos processos fabris, na estrutura da organização, gestão dos sistemas de informação e arquitetura de TI. Silva (2019) (GA4), cita em seu trabalho os autores Skoogh, Perera e Johansson (2012) que enfatizam que no abastecimento do modelo de simulação, com dados que são extraídos em tempo real coletados de forma automática, aparecem alguns desafios no que diz respeito a validade desses dados obtidos e à garantia de acuracidade, bem como à necessidade de ser robusto a possíveis erros e na eliminação de duplicidades.

Alves (2021) (GA3) cita em sua obra acadêmica, Terkaj, Tolio e Urgo (2015), onde o mesmo diz que a criação de simulações em tempo real das fábricas ainda é vista por muitos como um desafio. Quintaneiro (2021) (GA11), relata na metodologia de sua obra, que obteve como maior desafio a obtenção dos dados, e a aproximação da realidade, relatando que as variáveis a serem levadas em consideração são altas, tornando o desenvolvimento desafiador. Neste sentido, nesta pesquisa houve também uma abordagem destas percepções junto aqueles que estão diretamente envolvidos com as atividades de Simulação em pesquisas ou em meio empresariais. As principais respostas são descritas na próxima seção.

5.3 Dados e Informações Obtidas no Questionário Aplicado

O referido questionário aplicado na pesquisa, teve como objetivo identificar profissionais que trabalham com *softwares* no seu ambiente de trabalho. A pesquisa contou com um total de 14 respostas, sendo possível observar no Gráfico 7 a origem dos dados coletados no que diz respeito ao estado onde trabalham.

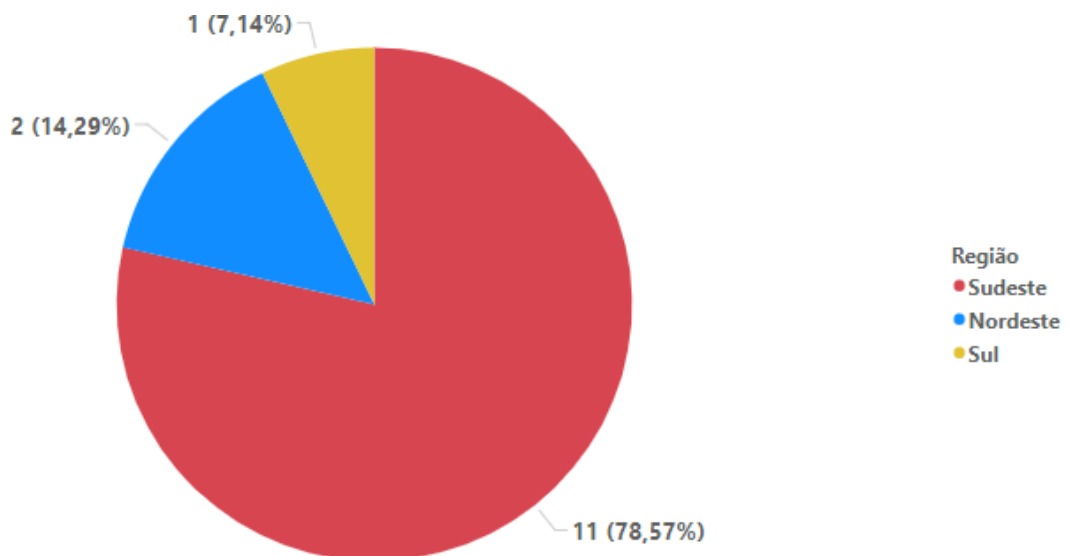
Gráfico 7: Estados onde os profissionais trabalham



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Como foi possível analisar no Gráfico 7, os estados que mais aparecem na pesquisa são os estados da região sudeste do Brasil, talvez por ser a região onde se concentram os grandes polos industriais e conseqüentemente, maiores oportunidades e disponibilidade de recursos ali presentes. Para melhor visualização apresenta-se no Gráfico 8 a distribuição por regiões.

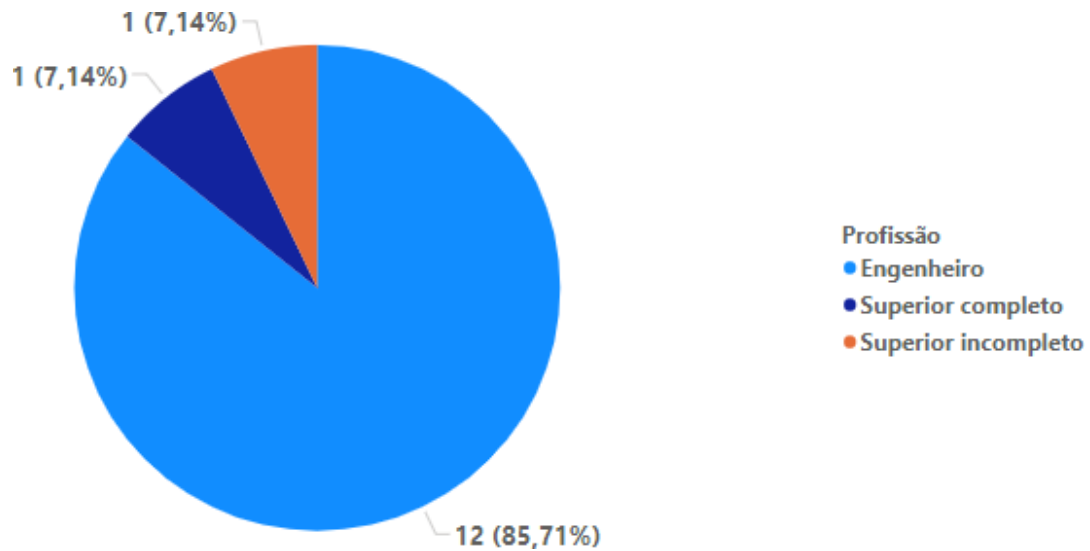
Gráfico 8: Distribuição por Regiões



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Pode-se concluir então que a região sudeste foi a que mais predominou na pesquisa. No Gráfico 9, apresenta-se as profissões dos entrevistados.

Gráfico 9: Profissão dos Participantes

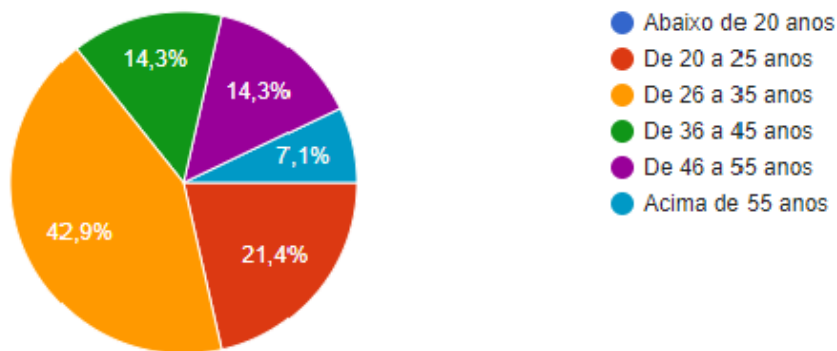


Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Nota-se que a grande maioria respondentes são Engenheiros, dando destaque às engenharias de produção, mecânica e automação, aparecendo mais vezes na pesquisa. Um colaborador respondeu que obtém ensino superior, logo podendo ser também da área de Engenharia, ou áreas correlatas e complementares. Um outro colaborador, ainda é estudante de Engenharia de Produção, mas trabalha com simulação em seu trabalho. Quanto à faixa etária dos participantes, pareceu de certa forma bem variada, como é possível visualizar no Gráfico 10.

Gráfico 10: Faixa etária dos participantes

14 respostas

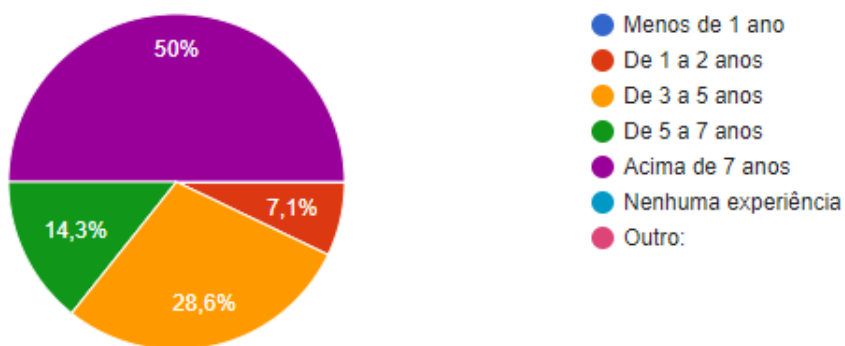


Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

É notório que a faixa etária mais representativa na pesquisa foi entre os 26 a 35 anos, representando 42,9% em seguida com a outra faixa etária de 20 a 25 anos, que corresponde a 21,4%. A análise também pode nos enfatizar que a simulação, no caso, é mais utilizada em faixas etárias de indivíduos mais jovens. No Gráfico 11, é possível observar qual o tempo de experiência que os indivíduos participantes da pesquisa possuem.

Gráfico 11: Tempo de experiência em simulação

14 respostas

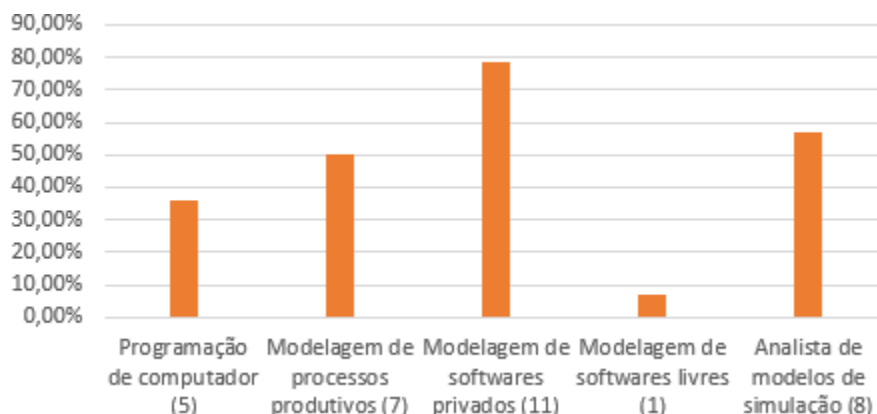


Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Ao analisar o Gráfico 11, percebe-se que a metade dos participantes do questionário tem uma boa experiência com a simulação, obtendo 50%, os que utilizam a simulação a mais de 7

anos. O questionário, assim sendo, obteve resposta de pessoas que têm bastante conhecimento da área e domínio do assunto. No Gráfico 12, temos as atividades de simulação mais comuns entre os participantes.

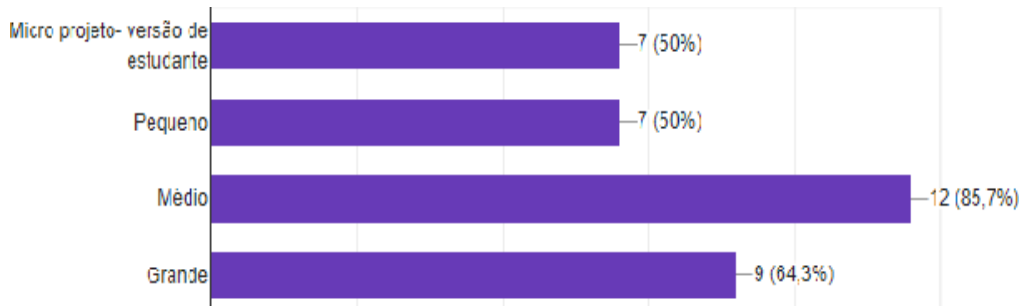
Gráfico 12: Atividades mais realizadas na simulação



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

É possível identificar pelo Gráfico 12, quais foram as atividades mais realizadas pelos contribuintes da pesquisa. A maioria dos participantes (11 dos 14), fazem a modelagem de *Softwares* privados, correspondendo a 78,6%, em seguida tem-se o Analista de modelos de simulação (8 dos 14), correspondendo a 57,1% , seguido de modelagem de processos produtivos (7 dos 14) correspondendo a 50% e por fim a programação de computador (5 dos 14), correspondendo a 35,7%. Por fim, porém também importante, tem-se modelagem de *softwares* livres (1 dos 14), correspondendo a 7,1%. Desse modo, a partir dessas atividades, tem também a questão do porte do projeto, sendo possível observar no Gráfico 13.

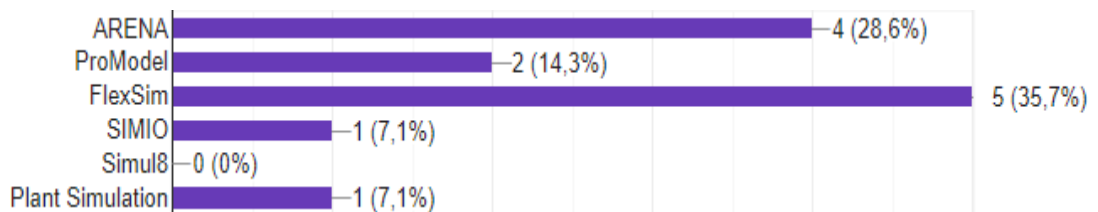
Gráfico 13: Níveis do porte do projeto



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Evidenciando o Gráfico 13, tem-se a premissa de que a grande maioria dos projetos elaborados pelos contribuintes da pesquisa, são de grande e médio porte. Assim sendo é perceptível também que a complexidade do projeto depende também muito do profissional e do que ele é capaz, projeto de grande e médio porte, exigem do projetista um conhecimento bem robusto. No Gráfico 14, tem se os tipos de *softwares* mais utilizados pelos colaboradores.

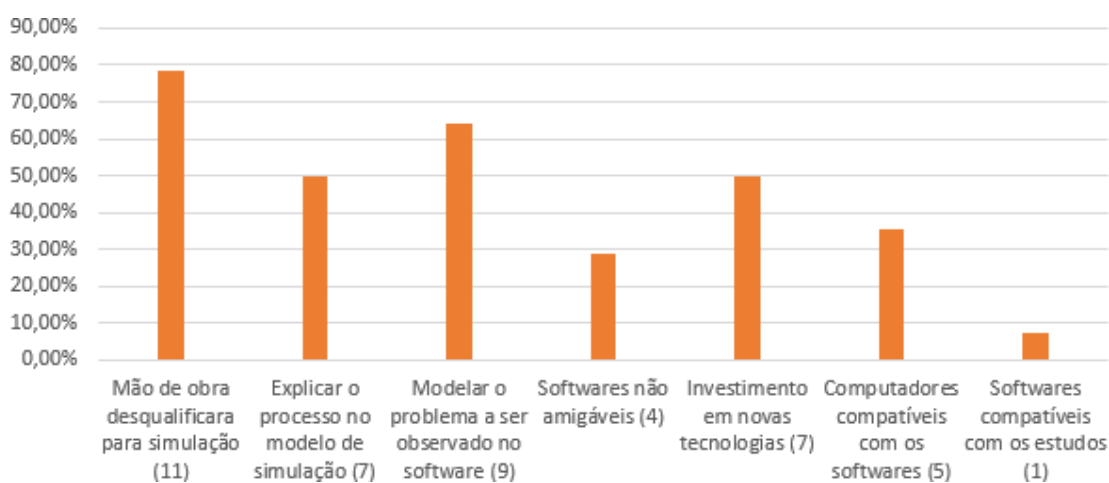
Gráfico 14: *Softwares* mais utilizados pelos contribuintes



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

De acordo com a análise, os *softwares* que foram mencionados na pesquisa foram implementados no questionário e desse modo, foi possível perceber que o *Flexsim*, foi o mais utilizado pelas pessoas, seguido do *Arena*, *ProModel* *Simio* e *Plant Simulation* foram pouco utilizados segundo os participantes. Outros respondentes citaram o *software Ansys* e suas variações, também como utilizado. Em relação aos desafios enfrentados pelos colaboradores, muitos deles citaram desafios comuns dentro da área, como pode ser visto no Gráfico 15.

Gráfico 15: Desafios encontrados na área de simulação segundo os colaboradores



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Como pode-se constatar, o maior desafio encontrado seria a mão de obra desqualificada, correspondendo a praticamente toda a parcela dos participantes da pesquisa (11 de 14), correspondendo a 78,6%. Em seguida, um dos grandes desafios também é o de modelar o problema a ser observado (9 de 14), tendo um percentual correspondente de 64,3%, seguido de investimento em novas tecnologias (7 de 14) com 50% e explicação do processo de modelo de simulação com o mesmo percentual. E por fim, em relação aos desafios mais relevantes tem-se Computadores compatíveis ao *software* de simulação (5 de 14), correspondente a 35,7% das respostas e por fim *softwares* não amigáveis (4 de 14) correspondendo a 28,6%.

Constata-se então, que todos os desafios citados acima, são dificuldades encontradas no ramo em questão e todos estão inteiramente interligados. Se você não tem investimento em tecnologia, por exemplo, você não terá um computador compatível com o *software*, muito menos ter o próprio *software*.

Sobre os incentivos dados para a pessoa que trabalha com simulação, alguns participantes citaram as respostas conforme o Quadro 9:

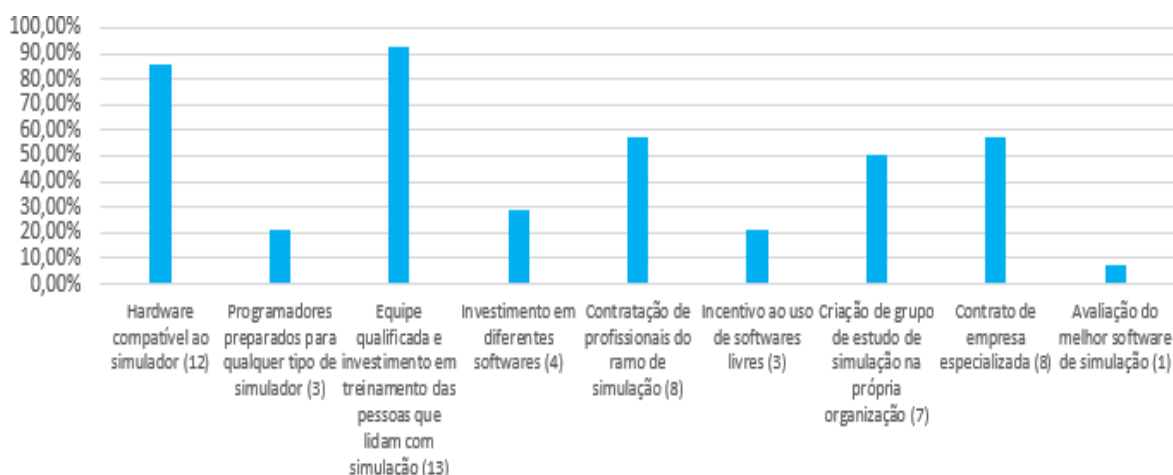
Quadro 9: Incentivo dado às pessoas da área de simulação

Classificação	Pontos considerados
Pessoas	Investimento em treinamento, horário de trabalho flexível e possibilidade de home office Treinamento Treinamento e suporte
Recursos	computadores especiais
Processo	O entendimento do processo traz visibilidade para o profissional,
Decisão	Confiança e validação de decisões
Vantagem profissional	Escalada profissional rápida, já que seu entendimento generalista, facilita a visão mais ampla da empresa, enxergando causas e consequências em diversas áreas; Treinamento com pessoas mais experientes para garantir que os conhecimentos de engenharia e controle de processos sejam bem aplicados no simulador.

Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Para que a simulação seja implementada de forma correta, existem outros tipos de investimento que são necessários para a empresa, dessa forma, os participantes citaram quais seriam os investimentos que vão além do *software*, como é possível compreender no Gráfico 16.

Gráfico 16: Investimentos além dos *softwares*

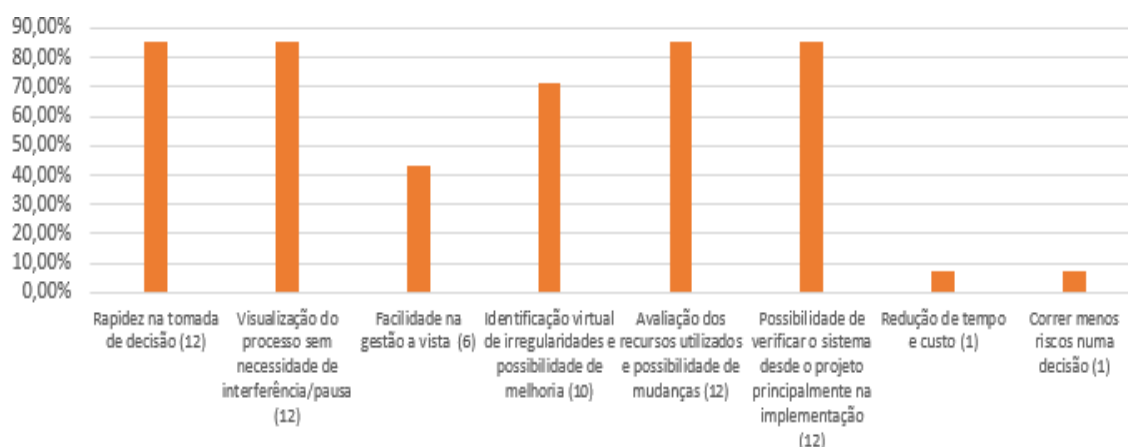


Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Ao perceber a disposição dos dados, nota-se que a equipe devidamente qualificada e investimento em treinamento (13 de 14), juntamente com a utilização de um *hardware* compatível ao simulador (12 de 14), foram os itens mencionados com maior intensidade entre os participantes, correspondendo a um total de 92,9% e 85,7% respectivamente. Assim, segue-se para outro tipo de investimento bastante usual, como é o caso de contratação de profissionais da área e contrato com empresas do ramo de simulação (8 de 14), correspondendo a 57,1%.

Posteriormente, a criação de grupo de estudos de modelagem de equipamentos também se mostrou bem atuante dentro do contexto (7 de 14), correspondendo a 50%. Assim sendo tem-se, logo depois, o investimento em diferentes *softwares* (4 de 14), correspondendo a 28,6% e por fim, como investimentos com menor relevância para os respondentes foram programadores multifuncionais (ou seja, trabalha com *softwares* diferentes) (3 de 14), com 21,4% e avaliação de melhor opção (1 de 14), com apenas 7,1%. Apesar de se ter investimentos dos mais variados tipos, dentro desse contexto, tem-se também o retorno e os benefícios dessa aplicação, como pode-se notar no Gráfico 17.

Gráfico 17: Benefícios da simulação computacional

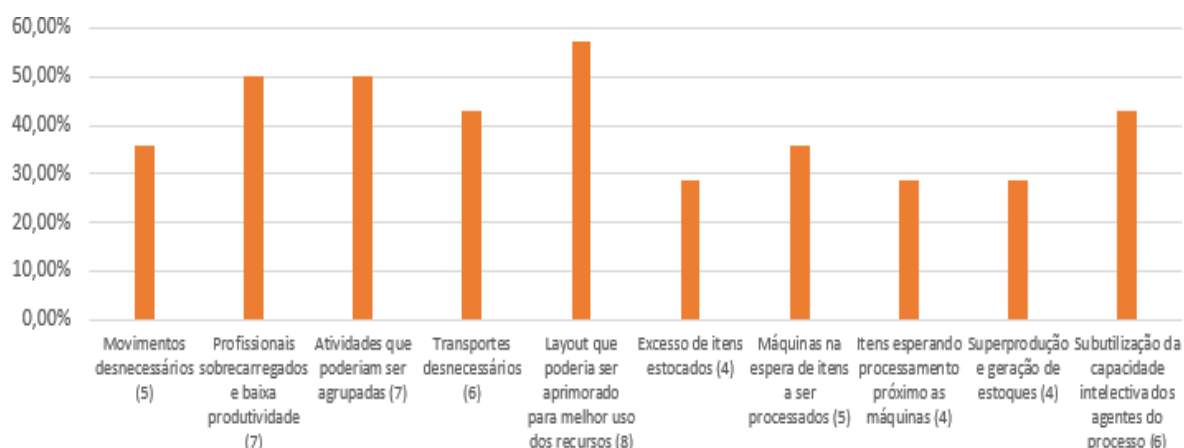


Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

De acordo com o Gráfico 17, os benefícios mais citados entre os participantes foram: rapidez na tomada de decisão, visualização do processo sem interferência/pausa, avaliação dos recursos utilizados e possibilidade de melhoria e verificação do projeto desde o início, principalmente na implantação do projeto (12 de 14), ambos correspondendo a 85,7%. Em seguida, tem-se a identificação de irregularidades e melhorias (10 de 14), muito citado também pelos participantes, correspondendo a 71,4% e facilidade na gestão a vista (6 de 14), com 42,9%. Por fim, como menos relevante entre os candidatos tem-se a redução de tempo e custo e correr menos risco numa decisão (1 de 14), com 7,1%.

Apesar do *software* em si trazer diversos benefícios aos usuários, a utilização deste recurso acaba trazendo alguns desperdícios no que diz respeito a forma com que é utilizado, por quem é utilizado e por outros fatores (segurança e confiabilidade dos dados, análise das possibilidades de erros no processo, etc), sendo possível observar cada um deles no Gráfico 18.

Gráfico 18: Desperdícios provenientes do *software*/utilização

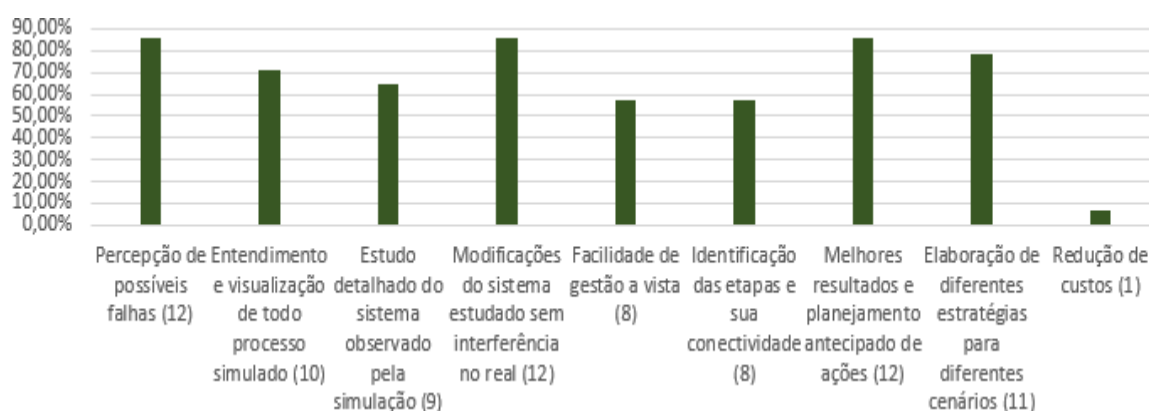


Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

O Gráfico evidencia quais foram os desperdícios mais comuns que foram relatados, tendo profissionais sobrecarregados e baixa produtividade, juntamente com o *layout* que poderia ser aprimorado para melhor uso do recurso (8 de 14), como os mais comentados, tendo um percentual de 57,1%. Em seguida, aparecem as atividades desnecessárias que poderiam ser agrupadas e profissionais sobrecarregados e baixa produtividade (7 de 14), com 50%. transportes desnecessários e subutilização da capacidade intelectual dos agentes dos processos (6 de 14), tiveram também uma margem mais expressiva no estudo, correspondendo a 42,9%. Movimentos desnecessários, máquinas esperando itens a serem processados (5 de 14) tiveram também uma boa representatividade correspondendo a 35,7%, tendo por fim excesso de itens estocados, itens esperando processamento das máquinas e superprodução/geração de estoque (4 de 14) com 28,6%.

Dessa maneira, apesar dos desperdícios mencionados, a simulação oferece aos usuários, quando bem implementada, uma série de melhorias que auxiliam nas estratégias de decisão, como é possível visualizar no Gráfico 19.

Gráfico 19: Melhorias propostas pela simulação

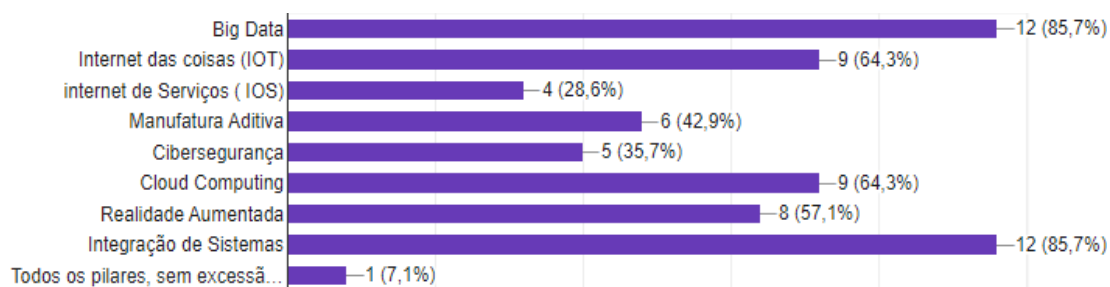


Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms*

Segundo os dados obtidos, junto da análise do Gráfico 19, as melhorias constatadas de acordo com os participantes, que aparecem de forma mais evidente, são as percepções das possíveis falhas do sistema, modificações do sistema estudado sem interferência real e melhores resultados e planejamento antecipado das ações (12 de 14), correspondendo a um percentual de 85,7%. Logo depois, também ressaltados de forma bem atuante no contexto, vem a elaboração de diferentes estratégias para diferentes cenários (11 de 14) com 78,6%, posteriormente tem se o entendimento e visualização de todo o processo simulado (10 de 14) com 71,4%, seguido de estudos detalhado do sistema observado pela simulação (9 de 14), com 64,3%, vindo logo depois seguido de facilidade de gestão a vista e identificação de toda a etapa e suas conexões (8 de 14), correspondendo a 57,1%. Por fim, fechando as melhorias mais expressivas observadas pelos participantes. Com apenas uma citação, houve a redução de custos como a menos expressiva, obtendo um percentual de apenas 7,1%.

Como citado no referencial teórico, todo o contexto fabril na chamada indústria 4.0 é interligado, em uma das perguntas investigou-se a interação dos pilares da chamada indústria 4.0 na simulação, sendo possível constatar essa conexão no Gráfico 20.

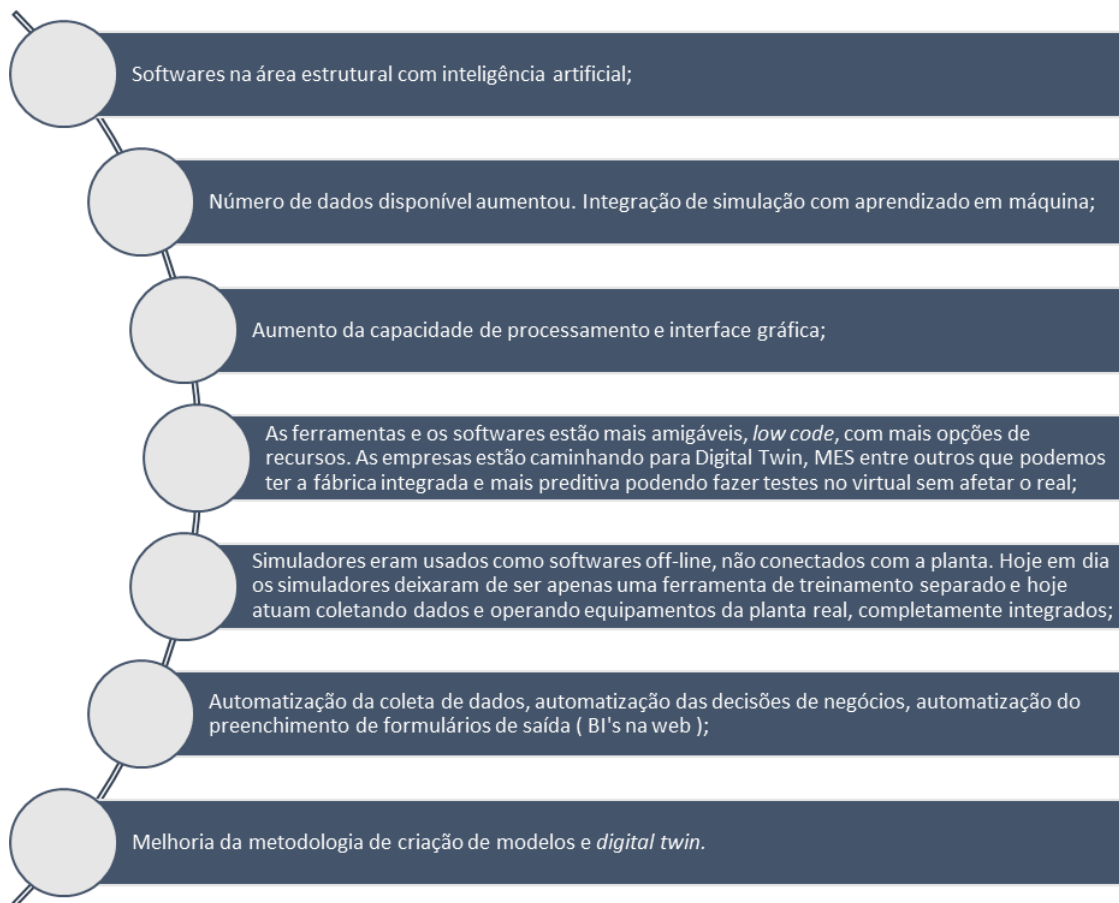
Gráfico 20: Pilares da i4 e sua conectividade com a simulação segundo os participantes



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Para grande parcela dos participantes, os pilares que mais se conectam com o pilar da simulação são: o *Big Data* e a Integração de Sistemas que foram os mais citados pelos participantes (12 de 14), correspondendo a 85,7%. Em seguida, como também mais relevantes entre os colaboradores da pesquisa, aparece a computação em nuvem (9 de 14), o IoT (9 de 14) e a realidade aumentada (8 de 14), correspondendo a um percentual de 64,3% e 57,1% respectivamente. Manufatura aditiva também teve uma maior relevância (6 de 14), correspondendo a 42,9%. Como menos relevantes, aparecem Cibersegurança (5 de 14), e o IoS (4 de 14) correspondendo a 35,7% e 28,6% respectivamente. e apenas um participante achou que todos os pilares da i4 estão interligados com a simulação, correspondendo a apenas 7,1%.

Como todos os participantes possuem vivência e experiência dentro da área, foi perguntado, se durante esse tempo de trabalho no ramo, houve alguma mudança e evolução na simulação no decorrer desse período e assim, pode-se destacar 7 principais opiniões:



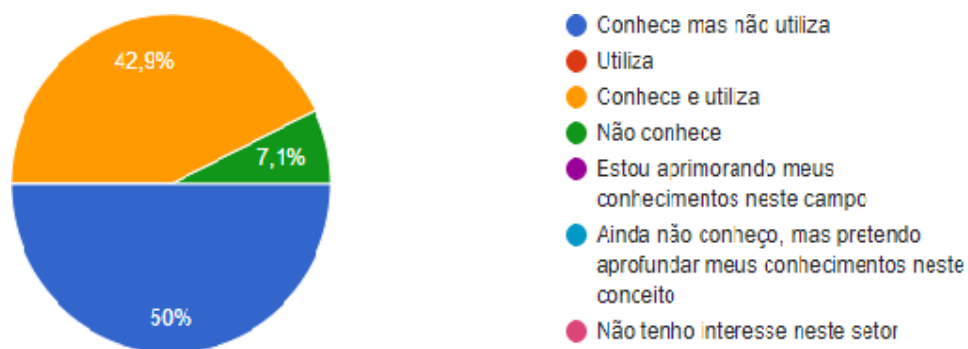
Sendo assim, houveram grandes avanços durante o período em que os participantes atuaram dentro do ramo pesquisado ao longo dos anos. Como tem-se o conhecimento, atualmente existem diversos tipos de *softwares*, para uma infinidade de situações. Desse modo, os *softwares* de simulação se enquadram em inúmeras realidades, dessa maneira, foi perguntado aos participantes como é feita a seleção desse *software* para cada realidade, podendo citar em especial cinco apontamentos encontrados nas respostas:

- 1) Em resumo, primeiro precisa-se entender o processo onde será aplicado. Entender quais pontos teremos maior ou menor dificuldade de representar no mundo virtual. Construir um questionário com os requisitos traduzidos a partir do processo e suas dificuldades. Aplicar esse questionário aos fornecedores, e pontuando os requisitos, com seus devidos pesos podemos ter uma referência bem interessante para onde ir. Importante quanto temos a oportunidade de fazer um "*hands on*" na ferramenta, ou quando podemos colocar um "case" para o fornecedor demonstrar o funcionamento da ferramenta;
- 2) Não existe um *software* definitivo, mas existem diferentes ferramentas aplicáveis, que vão desde sistemas especialistas de controle de processo (exemplo: Pavilion), criação de projetos "as is" de acordo com P&I (exemplo: COMOS);

- 3) O *software* depende do tamanho do projeto e do que será simulado. Deve-se avaliar se serão simuladas apenas lógicas, um simples balanço de massa de uma área da planta, ou até um conjunto de áreas ao mesmo tempo, incluindo lógicas e balanços de massa;
- 4) De acordo com o fenômeno que desejo representar;
- 5) Conhecendo a área de aplicação em detalhes.

Como mencionado acima, pelos participantes, não há um *software* em definitivo, mas sim um conjunto de ferramentas que são aplicáveis. Desse modo, é importante ressaltar e levar em consideração alguns fatores como: onde elas serão aplicadas, qual o tamanho do projeto, qual o fenômeno que se deseja simular dentre outros fatores. Como foco do estudo está o conceito de *Digital Twin*, e *softwares* de simulação que se baseiam nesse meio, foi perguntado aos entrevistados, se o conceito era de fato conhecido entre os que utilizam a simulação. Assim sendo, o Gráfico 21 expressa o conhecimento desse conceito entre os participantes.

Gráfico 21: Conhecimento do conceito de digital Twin



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

De acordo com o Gráfico 21, é possível constatar que de um modo geral, a grande maioria (13 dos 14) 92,9% conhecem o *Digital Twin*. Em seguida, como uma margem significativa, vem os que conhecem e utilizam (6 dos 14), correspondendo a 42,9% e apenas uma única pessoa respondeu que não conhece (1 dos 14), com um percentual de 7,1%. Foi perguntado o que seria esperado do *Digital Twin* dentro da organização e obteve as seguintes respostas:

- 1) Previsão e prevenção de falhas, redução de custos e melhoria de desempenho;
- 2) Rápida visualização de funcionamento do projeto, a fim de prever suas reações;
- 3) Análises Preventivas e Preditivas;

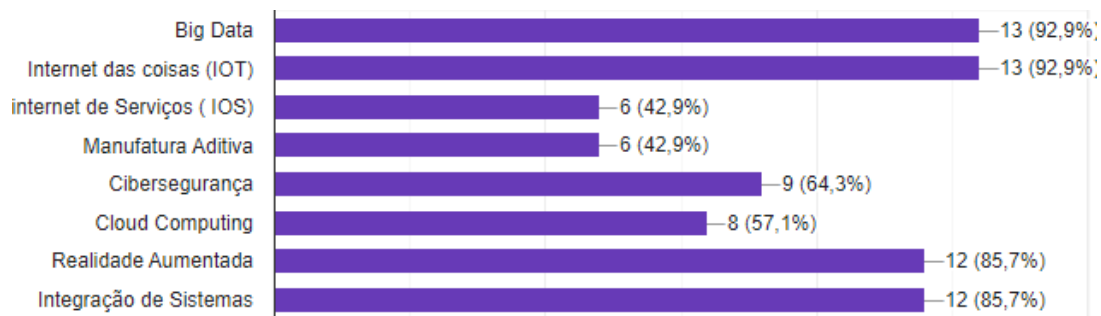
- 4) Além do acompanhamento dos indicadores do processo em tempo real, podemos ter a indicação futura do processo baseado nos dados estatísticos coletados, inclusive podendo apontar mudanças e validar no ambiente virtual de forma preditiva;
- 5) A possibilidade de que os equipamentos possam tomar decisões que gerem uma melhora global nos processos;
- 6) Aceleração de Processos, Visualização de Resultados em Melhor Qualidade, Diminuição no Uso de Protótipos;
- 7) Rapidez na tomada de decisões assertivas e redução de custos;
- 8) O *Digital Twin* deve ser uma fiel representação da planta simulada, de modo que ele permita que os próprios operadores realizem as manobras de área e as manobras feitas no SDCD (sistema digital de controle distribuído), no próprio *software* de simulação.

De um modo geral, portanto, tem-se o *Digital Twin* como um importante aliado nas tomadas de decisão, sendo um ótimo aliado a quem busca otimizar processos. Desse modo, foi perguntado qual os *softwares* que poderiam ser utilizados quando o projeto é embasado no *Digital Twin*, tendo como respostas:

- a) Ansys Twin Builder e Siemens NX;
- b) FlexSim, DHB, Emulatin, TiaPortal, PLC Siemens Advanced, ALTAIR;
- c) Emulate3D, Comos, SmartSignal;
- d) SIMIO / ARENA interligados com ferramentas externas via API (interface de programação de aplicação);
- e) Ideias.

Finalizando então a disposição dos dados, foi perguntado quais seriam os pilares da I4.0, que mais se encaixavam nesse contexto de *Digital Twin*, correspondendo então ao Gráfico 22.

Gráfico 22: Pilares da i4 que mais tem a ver com o digital Twin



Fonte: Resultados das entrevistas via *Google Forms* (2023)

Segundo os participantes, os pilares que mais tem a ver com o conceito de um modo geral são: Big Data e IoT (13 de 14), correspondendo a um percentual de 92,9%, em seguida aparece a integração dos sistemas e realidade aumentada (12 de 14), com 85,7%. Posteriormente também de uma maneira expressiva aparecem a cibersegurança (9 de 14) e a computação em nuvem (8 de 14), correspondendo a 64,3% e 57,1% respectivamente. As menos assinaladas pelos participantes, mas não menos importantes, foram IoS e manufatura aditiva (6 de 14) com 42,9%.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS:

No trabalho em questão, foi possível enxergar uma participação muito satisfatória dos indivíduos que se propuseram a responder o questionário, colaborando significativamente com a pesquisa. Os mesmos, foram responsáveis por relatar de forma breve, clara e objetiva, muito das vivências e situações de seu ambiente de trabalho usando algum tipo de *software*. Isso foi enriquecedor para a pesquisa, pois o questionário foi destinado especificamente a um grupo único de pessoas que tem a experiência rotineira de lidar com todos os componentes que abrangem a área de simulação, ou seja, nem todas as pessoas tem as qualificações que foram necessárias para o estudo em questão.

Muitos dos trabalhos acadêmicos, enfatizam que é necessário se investir em recursos de alta tecnologia para que seja possível otimizar o processo e fazer com que tudo esteja inteiramente interligado: máquinas, sensores, operadores, *softwares*, tomadores de decisão, dentre outros, se adaptando às condições atuais e se enquadrando nas chamadas *smart factories*. Os participantes da pesquisa, citaram também essa questão, dizendo que seria necessário investir não só em *hardwares* e *softwares* computacionais, mas também no investimento de fatores externos, como por exemplo o treinamento dos colaboradores, criação de grupo de estudos e auxílio das empresas especializadas que auxiliam no processo de tomada de decisão. Através disso, acredita-se ser mais difícil uma empresa de pequeno porte se adequar às exigências propostas, sendo possível enxergar essas transformações mais em empresas de grande/médio porte, o que corresponde a uma minoria.

As mudanças ocorridas no processo de simulação ao longo dos anos, para se adaptar e atender a indústria 4.0, teve o propósito de melhorar as interfaces gráficas, se tornando mais “amigáveis” no sentido do manuseio e entendimento, sendo mais fácil de ser interpretado pelos usuários. Além disso a simulação deixou de ser usado como um *software offline* e passou a ter conexão real com a planta, sendo interligado com outros componentes que são essenciais para

o excelente funcionamento do simulador. Desse modo, os simuladores tiveram que acompanhar os avanços da indústria 4.0, de modo a se adaptarem aos novos avanços tecnológicos.

A pesquisa trouxe um impacto também muito positivo e inesperado, pois evidenciou que muitos países subdesenvolvidos, estão adotando medidas atuais e implementando o *softwares* de simulação com o conceito do *Digital Twin*, com destaque para o Brasil. Foi também interessante saber que o conceito tem sido aplicado em outros setores, como por exemplo nas produções agrícolas, construções civis, transporte/logística, montagem de automóveis dentre outros mencionados.

Como estudo futuro, as análises podem ser ampliadas e aprofundadas, aplicando o questionário realizado a uma gama maior de pessoas que lidam mais com esse recurso em suas respectivas rotinas com o *Digital Twin*. Isso pode trazer uma ampliação no que diz respeito aos setores industriais que mais utilizam tal ferramenta e as áreas que são mais aplicadas. O estudo desse tema é de suma importância atualmente, pois possibilita a empresa a ter uma visão geral do sistema produtivo, manipulá-lo digitalmente em diversas possibilidades sem impactar as atividades realizadas, sem mudar o layout físico e principalmente sem perder tempo.

O profissional que conhece e se interessa pela área, também ganha com o conhecimento, tendo uma visão mais analítica da situação e um poder de decisão mais apurado, identificando possíveis falhas e optando pela solução ideal que vai de acordo com as suas exigências.

7. REREFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTIN, Marcos Ronaldo; ELIENESIO, Maria Luiza Bufalari; AIRES, Aline dos Santos; PONTES, Heráclito Lopes Jaguaribe; ARAGÃO JÚNIOR, Dmontier Pinheiro. Principais Inovações Tecnológicas da Indústria 4.0 e Suas Aplicações e Implicações na Manufatura. In: **XXIV SIMPEP Simpósio de Engenharia de Produção**, Bauru, SP, 2017, p.1-13. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/60805/1/2017_eve_mrAlbertin.pdf. Acesso em: 06 fev. 2023.

All-in-one Industrial IoT solutions for OEM machinebuilders. **Ixon**, 2022. Disponível em: <https://www.ixon.cloud/all-in-one-industrial-iot-solution>. Acesso em: 10 set. 2022

ALVES, Rafael. **Fazenda Inteligente**: desenvolvimento de um gêmeo digital para um sistema de irrigação. 2021. 131f. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2021.

ARRIVABENI, Breno Santos. **Análise técnica, econômica e socioambiental da manutenção de estradas não pavimentadas utilizando o Digital Twin**. 2021. 110f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2021.

BALADEZ, Fabio. O passado, o presente e o futuro dos simuladores. **Fasci-Tech**, São Caetano do Sul, São Caetano do Sul, v.1, n. 1, p. 29-40, ago./dez. 2009. Disponível em: <https://fatecsaocaetano.edu.br/fascitech/index.php/fascitech/article/view/4/4>. Acesso em: 20 set. 2022.

BARGO, Matheus da Rosa Rodrigues; MENDES, Raul Ferreira Máximo dos Santos. **A Revolução Industrial Brasileira**. 2022. 32 f. Monografia (Graduação em Administração de Empresas) – Departamento de Gestão e Negócios / Eng. Civil e Ambiental, Universidade de Taubaté, Taubaté, SP, 2022.

BARROS, Luciano Alencar. O fim político da “Era de Ouro” nos Estados Unidos. **Leituras de Economia Política**, Campinas, SP, n. 30, p. 23-34, jan./jun. 2020. Disponível em: https://www.economia.unicamp.br/images/arquivos/artigos/LEP/L30/6_Artigo_02.pdf. Acesso em: 03 fev. 2023.

BATEMAN, Robert E.; BOWDEN, Royce O.; GOGG, Thomas J.; HARREL, Charles R.; MOTT, Jack R. A.; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. **Sistemas de simulação**:

aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BATEMAN, Robert *et al.* **Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

BORLIDO, David José Araújo. **Indústria 4.0** - Aplicação a Sistemas de Manutenção. 2017, 77f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 2017.

CARDOSO, Marcelo de Oliveira. **Indústria 4.0:** a quarta revolução industrial. 2016. 43 f. Monografia (Curso de Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

CARVALHO JÚNIOR, João Batista de; BRITO, Luiz Antonio Perrone Ferreira de. Da Administração Científica ao Empreendedorismo. **R. Científica UBM**, Barra Mansa, RJ, v.18, n. 34, p. 227-249, 2016. Disponível em: <https://revista.ubm.br/index.php/revistacientifica/article/view/1277/311>. Acesso em 30 jan. 2023.

COLOMBO, Jamires Fátima; LUCCA FILHO, João de. Internet das Coisas (IOT) e Indústria 4.0: revolucionando o mundo dos negócios. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 72–85, 2018. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/496>. Acesso em: 08 fev. 2023.

COSTA, Marcelo Nogueira de Almeida; PAGANI, Marcella. Quarta Revolução Industrial e o Futuro do Trabalho. **Revista do Tribunal Superior do Trabalho**, São Paulo, SP, v. 85, n. 4, out/dez 2019. Disponível em: <https://juslaboris.tst.jus.br/handle/20.500.12178/167897>. Acesso em: 05 fev. 2023.

DA SILVA, Márcia Cristina Amaral; GASPARIN, João Luiz. A Segunda Revolução Industrial e suas Influências Sobre a Educação Escolar Brasileira. **VII seminário de estudos e pesquisas**, v. 1, p. 1-20, 2006. Disponível em: https://timelinefy-space-001.nyc3.digitaloceanspaces.com/files/4/4_XOKIYEOCSTZD9YY7QDQBUIIPQICIPYE M.pdf. Acesso em: 23 Mar. 2022.

DIAS, Gabriel Martins. Robôs Autônomos. **Doutor IoT**, São Paulo, 21 mar. 2023. Disponível em: <https://www.doutoriot.com.br/negocios/industria-40/robos-autonomos/>. Acesso em: 26 de jul. de 2022

DIAS, Renata Rampim de Freitas. **Internet das Coisas sem mistérios: uma nova inteligência para os negócios**, São Paulo: Ed. Net Press Books, 2016.

Digital Twin Market Worth 15.66 Billion USD by 2023. **Cision PR Newswire**, 31 ago. 2017. Disponível em: <https://www.prnewswire.com/in/news-releases/digital-twin-market-worth-1566-billion-usd-by-2023-642374603.html>. Acesso em: 20 out. 2022.

DOMINGUEZ, Luiz Henrique (Org.). **Engenharia de Produção e a Indústria 4.0**. Ponta Grossa: Aya Editora, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346895285_Revisao_sobre_a_aplicacao_dos_paradigmas_atualizados_em_2005_por_Chris_Voss. Acesso em: 17 out. 2022.

FERREIRA, William de Paula; ARMELLINI, Fabiano; SANTA-EULALIA, Luiz Antonio de. Simulation in industry 4.0: A state-of-the-art review. **Computers & Industrial Engineering**, [s.l], v. 149, 106868, nov. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835220305635>. Acesso em: 05 dez. 2022.

FERRO *et al.* Uma Ferramenta de Otimização para o Planejamento da Produção: Um Estudo de Caso em uma Indústria Têxtil. **Appl. Sci.** 2021, 11, 8312.

FONTELLES, Mauro José *et al.* Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista paraense de medicina**, [s.l], v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3049277/mod_resource/content/1/DIRETRIZES%20PARA%20A%20ELABORA%20C3%87%20C3%83O%20DE%20UM%20PROJ%20PESQUISA.pdf. Acesso em: 20 fev. 2023.

FORESIGHT, U.K. **The Future of Manufacturing**: A new era of opportunity and challenge for the UK Summary Report. London: The Government Office for Science. 2013.

GÓMEZ, Yarelis H; FERNÁNDEZ, Tatiana D. Simulación y Gemelos Digitales de Procesos Operacionales: Caso de estudio en una Empresa Transitaria. **Revista Cubana de**

Administração Pública y Empresarial, [s.l.], v. 6, n. 1, jan./abr. 2022. Disponível em: [https:// apye.esceg.cu/index.php/apye/article/view/195](https://apye.esceg.cu/index.php/apye/article/view/195). Acesso em: 25 fev. 2023.

GONÇALVES, G. A. S. *et al.* 2017. Indústria 4.0: Como as Empresas Estão Utilizando a Simulação para se Preparar para o Futuro. **Rev. Cienc. Exatas Tecnol.**, [s.l.], v. 12, n. 12, p. 49-53, 2017. Disponível em: <https://revista.pgsskroton.com/index.php/rcext/article/view/5444>. Acesso em: 06 fev. 2023.

HEREDIA, Ignacio *et al.* Aplicación Integral de Técnicas de Excelencia Operacional com Simulación de Eventos Discretos para La Mejora Productiva en una Industria de Cerámica. **Congreso Internacional de Ingeniería Industrial – AACINI**, Facultad de Ingeniería UNMDP, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, 2022.

KEMPURAJ, *et al.* Digital Twin for Factory System Simulation. **International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)**, Chennai, India, v. 8, p. 2277-3878, maio 2019. Disponível em: <https://www.ijrte.org/wp-content/uploads/papers/v8i1S2/A00130581S219.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

KHAN, Maqbool *et al.* Big data challenges and opportunities in the hype of Industry 4.0. **International Conference on Communications (ICC)**, Paris, France, p. 1-6, 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7996801>. Acesso em: 10 ago. 2022.

LIMA, Guilherme Pereira Lima. **Curso Técnico em Manutenção e Suporte em Informática**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, CETAM, 2009. 55 p. Disponível em: http://proedu.rnp.br/bitstream/handle/123456789/676/Metodologia_Pesquisa_COR_capa_20090706_ISBN.pdf.pdf. Disponível em: 06 fev. 2023.

MAGALHÃES, Jhonny. **A Quarta Revolução Industrial e as Relações de Trabalho**. 2019, 52f. Monografia (Graduação em Direito) – Faculdade do Vale do Cricaré, Instituto Vale do Cricaré, São Mateus, ES, 2019.

MARQUEZ, Ivan Arturo Renteria; RENTERIA, Anabel. The Digital Twin as a Design Tool in Industry 4.0: A Case Study. **The Twelfth International Conference on Advances in System Simulation**, Texas, EUA, p. 64-67, 2020. Disponível em: file:///C:/Users/Cliente/Downloads/simul_2020_2_60_50019.pdf. Acesso em: 25 jan. 2023.

MELL, Peter; GRANCE, Timothy. The NIST Definition of Cloud Computing. **National Institute of Standards and Technology**, [s.l], set. 2011. Disponível em: <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2022.

MERLO, Álvaro Roberto Crespo; LAPIS, Naira Lima. A Saúde e os Processos de Trabalho no Capitalismo: Reflexões na Interface da Psicodinâmica do Trabalho e da Sociologia do Trabalho. **Revista Psicologia e Sociedade**, [s.l], v. 19, n. 1, p. 61-68, jan/abr. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psoc/a/d4BywgBQn9QkpbLQsXVGPcP/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 03 fev. 2023.

MIRANDA, Fernando Silveira Melo Plentz. A mudança do paradigma econômico, a Revolução Industrial e a positivação do Direito do Trabalho. **Revista Eletrônica Direito**, v. 3, n. 1, p. 1-24, 2012. Disponível em: <http://docs.uninove.br/arte/fac/publicacoes/pdf/v3-n1-2012/Fer1.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2023.

MORAES NETO, Benedito Rodrigues de. **Marx, Taylor, Ford: As Forças Produtivas em Discussão**. São Paulo: Brasiliense, 1989.

MOREIRA, Leandro Domingos. **Indústria 4.0: Estudo da Cadeia Produtiva da Madeira no Paraná**. 2017, 68f. Monografia de Especialização — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2017.

NEGRI, Elisa; FUMAGALLI, Luca; MACCHI, Marco. A Review of the Roles of Digital Twin in CPS-based Production Systems. **Procedia Manufacturing**, [s.l], v. 11, p. 939–948, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917304067>. Acesso em: 20 fev. 2023.

NISHIJIMA, Yumi. **Análise de Processos em um Pátio Ferroviário no Porto de Santos Utilizando o Flexsim**. 2022. 64f. Monografia (Graduação em Engenharia de Transportes e Logística) – Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2022.

O que é a quarta revolução industrial? **C2TI**, 24 jun. 2019. Disponível em: <https://c2ti.com.br/blog/o-que-e-a-quarta-revolucao-industrial-empendedorismo>. Acesso em: 29 mar. 2022.

OLIVEIRA, Lucas Manuel Fonseca. **Indústria 4.0: conceitos e análise dos impactos**. 2019. 41 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

PALACIOS, Jhon Edwin Mican; RODRIGUEZ, Leandro Esteban Garcia. **Modelo Discreto para Proceso de Atención a Pacientecon COVID-19 en UCI (UNIDAD DE CUIDADOS INTENSIVOS) para Controlar laSaturación de Pacientes Implementando Decisiones Logísticas**. 2021. 82f. Monografia. Universidad Distrital Francisco José Caldas – Facultad Tecnologica. Bogotá, 2021.

PANAZZOLO, Alisson Camatti; **Elevando a capacidade de aplicação da RFID nas organizações**. 2018, 49f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação de Administração) – Área do Conhecimento de Ciências Sociais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

PARROT, Aaraon; WARSHAW, Lane. **Industry 4.0 and the Digital Twin**. [s.l], Deloitte University Press, 2017. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/kr/Documents/insights/deloitte-newsletter/2017/26_201706/kr_insights_deloitte-newsletter-26_report_02_en.pdf. Acesso em: 05 fev. 2023.

PAZ, Antonio Carlos Menezes *et al.* A importância da computação em nuvem para a indústria 4.0. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 16, n. 2, p. 166-185, abr./jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/revistagi>. Acesso em: 10 fev. 2023.

PEDERNEIRAS, Gabriela. Simulação na Indústria 4.0. **Ind 4.0**, 3 jun. 2019. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/18130-simulacao-na-industria-40>. Acesso em: 23 set. 2022.

PÉREZ, Joan. **Diseño e implementación de ungemelo digital enunproceso de fabricación automatizado**. Monografia (Graduação em Engenharia Eletrônica Industrial e Automática) – Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena 2022.

PETRIN, Natália. Segunda Revolução Industrial. Todo Estudo. **Todo Estudo**, 2022. Disponível em: <https://www.todoestudo.com.br/historia/segunda-revolucao-industrial>. Acesso em: 29 mar. 2022.

PIRES, Hugo Soares da Costa. **Scheduling Strategies for the Furniture Industry**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto – FEUP, Porto, 2021.

PUERTAS *et al.* **Un Modelo Digital para la Identificación de Restricciones en el Proceso de Ensamblaje de Motocicletas**. Boletín de Innovación Logística y operacionales. Vol. 3 no. 1, Janeiro - Junho, Barranquilla, Colombia.

QUINTANEIRO, João. **Deep Reinforcement Learning Management System For Secure Intralogistics**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2021.

REIS, Déborah Aparecida Souza dos; REIS, Jorge von Atzingen; DUARTE, Marcus Antonio Viana. Um exemplo de aplicação da programação linear a uma indústria de rações. In: **Engenharia de Produção: Novas Pesquisas e Tendências 3**. p. 9-16, 2022. Disponível em: <https://ayaeditora.com.br/wp-content/uploads/Livros/L158C1.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022

ROCHA. Lucas José da. **O Conceito de Digital Twin como Ferramenta de Apoio à Operação de Veículos Ferroviários**. 2022. 66f. Dissertação (Mestrado Multimédia - Especialização em Tecnologias Interativas e Jogos Digitais) – Universidade do Porto, Porto, 2022.

ROMANO, Matheus. Entenda tudo sobre a integração na indústria 4.0 e conheça as integrações horizontal e vertical. **Logique**, 19 dez. 2017. Disponível em: <https://www.logiquesistemas.com.br/blog/integracao-na-industria-40/>. Acesso em: 3 jul. 2022.

RÜßMANN, Michael; LORENZ, Markus; GERBERT, Philipp; WALDNER, Manuela; JUSTUS, Jan; ENGEL, Pascal; HARNISCH, Michael. Industry 4.0: The future of productivity and growth in 103 manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, [s.l], v. 9, abr. 2015. Disponível em:

https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries. Acesso em: 25 fev. 2023.

SAAVEDRA SUELDO, C.; VILLAR, S. A.; DE PAULA, M.; ACOSTA, G. G. Integration of ROS and Tecnomatix for the development of digital twins based decision-making systems for smart factories. **IEEE Latin America Transactions**, [S. l.], v. 19, n. 9, p. 1546–1555, 2021. Disponível em: <https://latamt.ieee9.org/index.php/transactions/article/view/4925>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SAKR, Ahmed *et al.* Building a Discrete-Event Simulation for Digital Twin Applications in Product Systems. **IEEE – International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)**, Montreal, Canadá, p. 1-8, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9613425>. Acesso em: 20 fev. 2023.

SANTOS, Carlos. **Utilização da simulação para tomada de decisões no contexto da indústria 4.0: Uma aplicação inserida no conceito de Gêmeo Digital**. 2019. 107f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá, 2019.

SANTOS, Danubio Fontoura dos. **O Impacto da Internet das Coisas no design de ambientes comerciais: Estudo de caso em loja Omniera**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (Especialização em Design de Produto na Era Digital), Unisul, 2018.

SANTOS, Lourival Santana; ARAÚJO, Ruy Belém. **História Econômica Geral e do Brasil**. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD, 2011.

SANTOS, Nivia Salles. **Manufatura Aditiva de Materiais Metálicos - Evolução e Desenvolvimento Atual**. 2019, 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Materiais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, SP, 2019.

SANTOS, Vanice dos.; CANDELORO, Rosana J. **Trabalhos Acadêmicos: Uma orientação para a pesquisa e normas técnicas**. Porto Alegre/RS: AGE Ltda, 2006. 149 p.

SCHITCOSKI, Robertson. **Uma arquitetura modular para sistemas de treinamento militar em operações táticas**. Dissertação (Mestrado). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2009.

- SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.
- SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. 1º. ed. [S.l.]: Edipro, 2016.
- SILVA, Bruno Tadeu Kahil, *et al.* **Ferramenta de Manufatura Digital Aplicada em uma Pequena Empresa Produtora de Escovas Industriais**. 2020. 64f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo - SP.
- SILVA, Danilo Goulart da. **Indústria 4.0: conceito, tendências e desafios**. 2017, 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.
- SINGH, S. Digital Twin Market worth \$73.5 billion by 2027. **Markets and Markets**, 2019. Disponível em: <https://www.marketsandmarkets.com/PressReleases/digital-twin.asp>. Acesso em: 21 out. 2022.
- SKOOGH, Anders; PERERA, Terrence; JOHANSSON, Björn Johan Ingemar. Input data management in simulation – Industrial practices and future trends. **Simulation Modelling Practice and Theory**, [s.l], v. 29, p. 181-192, dez. 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1569190X12001062>. Acesso em 28 fev. 2023.
- SOUZA, Larissa Aparecida Lopes de. **Desafios das empresas frente aos princípios das SmartFactors: Uma análise em grupo de empresas sediadas no Brasil**. 2021, 87f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.
- SOUZA, Matheus Lukas Franklin Rutherford T. M. **Otimização de um sistema flexível de fabrico usando virtualização num contexto de digital twin**. 2020, 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial Eletrotécnica) – Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança, SP, 2020.
- SOUZA, Matheus Lukas Franklin Rutherford Tobias Marcelino de. **Otimização de um sistema flexível de fabrico usando virtualização num contexto de Digital Twin**. Tese (Mestrado em Engenharia Industrial Eletrotécnica) – Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Bragança 2020.

TAO, Fei; ZHANG, Meng. Digital Twin Shop-Floor: A New Shop-Floor Paradigm Towards Smart Manufacturing. **IEEE Access**, Beijing, China, v. 5, p. 1-10, 26 set. 2017. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8049520>. Acesso em: 03 dez. 2023.

TEIXEIRA, Cynthia Helena Soares Bouças; TEIXEIRA, Ricardo Luiz Perez. Cenário da indústria 4.0 e a gestão da qualidade. Engenharia 4.0: a era da produção inteligente. In: PINHEIRO, Eduardo Mendonça; FILHO, Patrício Moreira de Araújo; COELHO, Glauber Tulio Fonseca (org.). **Engenharia: a era da produção inteligente**. 1ª ed. São Luís, MA: Editora Pascal, 2021, p. 175-183.

Tudo sobre a Terceira Revolução Industrial: das Causas às Consequências. Redação **Beduka**, 16 set. 2020. Disponível em: <https://beduka.com/blog/materias/historia/terceira-revolucao-industrial>. Acesso em: 29 mar. 2022.

UESUGUI, Erick Akira *et al.* Usos e benefícios da realidade aumentada na indústria 4.0. **Revista Brasileira de Mecatrônica**, São Caetano do Sul, SP, v. 4, n. 4, p. 48- 64, abr./jun. 2022. Disponível em: <https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/168>. Acesso em: 10 dez. 2022.

URIARTE, Ainhoa Goienetxea; NG, Amos H.C; MORIS, Matias Urenda. Supporting the lean journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, [s.l], v. 25, p. 586–593, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918306255>. Acesso em: 15 fev. 2023.

VALENTE, Jonas. Vendas Mundiais de Robôs Industriais Batem Recorde. **Agência Brasil**, 23 jun. 2018. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-06/vendas-mundiais-de-robos-industriais-batem-recorde/>. Acesso em: 9 ago. 2022.

VARGAS-BARBOSA, Jhonatan; CASTRILLÓN, Omar D; GARCIA, Jaime A.G. **Modelo de Simulación de Eventos Discretos y Emulación de Sensores para Mejorar una Ruta de Transporte Rural al Reducir los Tiempos de Espera**. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Departamento de Ingeniería Industrial, Manizales, Colombia.

VIEIRA, Guilherme Ernani. Uma revisão sobre a aplicação da simulação computacional em processos industriais. **PUC PR.XIII SIMPEP**, Bauru, SP, Brasil, 06 a 08 nov. 2006. Disponível em: https://simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/676.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

WAN, Jiafu; CAI, Hu; ZHOU, Keliang. Industrie 4.0: Enabling technologies. **Proceedings Of 2015 International Conference on Intelligent Computing And Internet of Things**, Harbin, China, p. 135-140, jan. 2015. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7111555>. Acesso em: 10 ago. 2022.

WARREN, Redação. De criança prodígio a gênio incompreendido: conheça a história de Alan Turing. **Warren Magazine**, 25 fev. 2022. Disponível em: <https://warren.com.br/magazine/alan-turing/>. Acesso em: 5 dez. 2022.

WATANABE, Alexandre. **Modelagem de uma planta virtual de produção de PCBs via digital Twin dentro do contexto da indústria 4.0**. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Programa de Pós-Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

WEYER, Stephan; MEYER, Torben; OHMER, Moritz; GORECKY, Dominic; ZÜHLKE, Detlef. Future Modeling and Simulation of CPS – based Factories: Na Example from the Automotive Industry. **IFAC PapersOnLine**, [s.l.], v. 49, n. 31, p. 97-102, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316328397>. Acesso em: 08 jan. 2023.

APÊNDICE A – Questionário sobre utilização dos *softwares* de simulação

1) Qual estado ou cidade onde trabalha?

R: _____

2) Qual sua formação?

R: _____

3) Qual sua faixa etária?

- Abaixo de 20 anos
- De 20 a 25 anos
- De 26 a 35 anos
- De 36 a 45 anos
- De 46 a 55 anos
- Acima de 55 anos

4) Quantos anos de experiência com simulação?

- Menos de 1 ano
- De 1 a 2 anos
- De 3 a 5 anos
- De 5 a 7 anos
- Acima de 7 anos
- Nenhuma experiência
- Outro: _____

5) Quais tipos de atividade de simulação você realiza? É possível marcar mais de uma*

- Programação de computador
- Modelagem de processos produtivos
- Modelagem de *softwares* privados
- Modelagem de *softwares* livres
- Analista de modelos de simulação
- Supervisor de Processo Produtivo
- Outros: _____

6) Em relação aos trabalhos com simulação dos quais já participou, em média, qual o porte dos projetos? É possível marcar mais de uma*

- Micro projeto – versão de estudante
- Pequeno
- Médio
- Grande
- Outros: _____

7) Qual(is) *softwares* de simulação você já utilizou?

- Arena*
- ProModel*
- FlexSim*
- Simio*
- Simul8*
- Plant Simulation*
- Outros: _____

8) Quanto tempo você utiliza o *software* de simulação?

- Menos de 1 ano
- 1-3 anos
- 3-5 anos
- 5-10 anos
- Mais de 10 anos

9) Quais desafios você observou no uso da simulação em seu ambiente de trabalho? É possível marcar mais de uma*

- Mão de obra desqualificada para lidar com a simulação
- Explicar o processo no modelo de simulação
- Modelar o problema a ser observado no *software* de simulação
- Softwares* não amigáveis
- Investimento em novas tecnologias

10) Que tipo de incentivo é dado as pessoas que utilizam da simulação em seu setor de trabalho?

R: _____

11) Na sua opinião, quais são os investimentos além so *software* de simulação que são necessários para que uma organização utilize a simulação?

Hardware compatível ao simulador

Programadores preparados para qualquer tipo de simulador

Equipe qualificada e investimento em treinamento das pessoas que lidam

com a simulação

Investimento em diferentes *softwares* de simulação

Contratação de profissionais que utilizam a simulação

Incentivo ao uso de *softwares* livres

Criação de grupo de estudo em simulação e modelagem dentro da

organização

Contrato de empresas especializadas em simulação para auxiliar no

processo de tomada de decisão

Outros: _____

12) Na sua opinião quais os benefícios que o uso da simulação computacional pode trazer para uma organização? É possível marcar mais de uma*

Nenhum

Rapidez na tomada de decisão

Visualização do processo sem a necessidade de interferir ou parar o

sistema estudado

Facilidade na gestão a vista

Identificação virtual de irregularidades e possibilidades de melhorias

Avaliação dos recursos utilizados e possibilidade de mudanças

Possibilidade de verificar um sistema desde o projeto, principalmente na

implantação de processos

Outros: _____

13) Que tipo de desperdício você já identificou com o uso da simulação computacional?

- Movimentos desnecessários
- Profissionais sobrecarregados e baixa produtividade
- Atividades desnecessárias que poderiam ser agrupadas
- Transportes desnecessários
- Layout* que poderia ser aprimorado para melhor uso dos recursos
- Excesso de itens estocados
- Máquinas esperando itens para serem processadas
- Itens esperando processamento próximo as máquinas
- Superprodução e geração de estoque
- Subutilização da capacidade produtiva dos agentes de processo

14) Quais melhorias são visualizadas quando uma empresa utiliza a simulação para auxiliar nas estratégias de decisão?

- Percepção das possíveis falhas do sistema
- Entendimento e visualização de todo o processo simulado
- Estudo detalhado do sistema observado pela simulação
- É possível testar diferentes modificações no sistema estudado, sem a interferência no sistema real
- Facilidade de fazer a gestão a vista por meio da simulação
- Identificação de todas as etapas dos sistemas e suas conectividades
- Melhores resultados e planejamento antecipado das ações
- Elaboração de diferentes estratégias para diferentes cenários

15) Quais das tecnologias da indústria 4.0 são boas aliadas para a simulação?

- Big Data*
- Internet das Coisas (IoT)
- Internet de Serviços (IoS)
- Manufatura Aditiva
- Cibersegurança
- Cloud Computing*
- Realidade aumentada
- Integração de Sistemas
- Outros: _____

16) Quais tipos de evoluções você visualizou no processo de simulação no decorrer do tempo? Existe algo novo para o futuro?

R: _____

17) Como você seleciona o *software* de simulação dentro de cada realidade?

R: _____

18) Você conhece o conceito de *Digital Twin*? – representação virtual (uma simulação realista de física e materiais) de um elemento ou sistema físico do mundo real que é atualizada continuamente?

- Conhece mas não utiliza
- Utiliza
- Conhece e utiliza
- Não conhece
- Estou aprimorando meus conhecimentos neste campo
- Ainda não conheço, mas pretendo aprofundar meus conhecimentos neste conceito
- Não tenho interesse nesse setor
- Outros: _____

19) O que você espera do *Digital Twin* dentro da organização?

R: _____

20) Qual(is) *softwares* e/ou plataformas digitais são utilizadas quando o projeto é com *Digital Twin*?

R: _____

21) Quais ferramentas da Indústria 4.0 podem ser bons aliados ao *Digital Twin*?

- Big Data*
- Internet das Coisas (IoT)
- Internet de Serviços (IoS)
- Manufatura Aditiva
- Cibersegurança
- Cloud Computing*
- Realidade aumentada
- Integração de Sistemas
- Outros: _____