



**Universidade Federal do Amazonas**  
**Faculdade de Tecnologia**  
**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de**  
**Produção - PPGE**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**TATIANE PINTO DOS SANTOS**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE WIP EM UMA LINHA DE**  
**MONTAGEM INDUSTRIAL: UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE PLANT**  
**SIMULATION**

**MANAUS - AM**

**2024**



**Universidade Federal do Amazonas**  
**Faculdade de Tecnologia**

**Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção - PPGE**



**TATIANE PINTO DOS SANTOS**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE WIP EM UMA LINHA DE  
MONTAGEM INDUSTRIAL: UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE PLANT  
SIMULATION**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gestão da Produção e Operações.

Orientador: Prof. Dr. Armando Araújo de Souza Junior.

MANAUS - AM

2024

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237i Santos, Tatiane Pinto dos  
Implementação de um sistema de controle de WIP em uma linha de montagem industrial: uma aplicação do software plant simulation / Tatiane Pinto dos Santos . 2024  
70 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Armando Araújo de Souza Junior  
Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) -  
Universidade Federal do Amazonas.

1. Arduíno uno. 2. Controle FIFO - First in, First out . 3. Simulação computacional . 4. WIP - Work in process. I. Souza Junior, Armando Araújo de. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



**Universidade Federal do Amazonas**  
**Faculdade de Tecnologia**  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de  
Produção - PPGEP



**TATIANE PINTO DOS SANTOS**

**IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE DE WIP EM UMA LINHA DE  
MONTAGEM INDUSTRIAL: UMA APLICAÇÃO DO SOFTWARE PLANT  
SIMULATION**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas, como parte do requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de concentração: Gestão da Produção e Operações.

Aprovada em **22** de julho de 2024.

**BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. **Armando Araújo de Souza Júnior**, Presidente  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. **Marcelo Albuquerque de Oliveira**, Membro  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. **Ricardo Jorge da Cunha Costa Nogueira**, Membro  
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Prof. Dr. **Sérgio Augusto Torres Mendes** – Membro Externo/UFAM

*“Confie no Senhor de todo o seu coração e não se apoie em seu próprio entendimento”.*

*Provérbios 3:5*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo seu amor imensurável e por permitir chegar até essa etapa da minha vida acadêmica e profissional.

Agradeço ao meu amado esposo Álvaro Peres, por todo apoio durante essa caminhada acadêmica, por toda compreensão durante os momentos de dedicação ao mestrado e por não me deixar desistir no meio do caminho, por dedicar tempo para leitura do trabalho e expressar suas opiniões e sugestões de melhoria.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Armando Araújo de Souza Júnior, por aceitar me orientar nesse projeto, por dedicar tempo com as reuniões, por me ajudar a executar todas as etapas dentro do cronograma do programa de mestrado e por ser um excelente profissional que demonstra amar o que faz através da sua dedicação.

Ao gerente de engenharia Carlos Américo, por ter possibilitado a execução desta pesquisa no meu ambiente de trabalho, por disponibilizar ferramentas de *softwares* e permitido a utilização dos dados da linha de produção para que fosse possível a realização desta pesquisa.

Ao coordenador Prof. Dr. *Marcelo Albuquerque de Oliveira* e a secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Amazonas por todo apoio durante esta jornada e pelo excelente atendimento aos mestrandos.

Aos professores do corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, por todo conhecimento transmitido e compartilhado durante as aulas e por todo incentivo e apoio necessário para conclusão do mestrado.

## RESUMO

A competitividade na indústria e as exigências dos clientes por produtos de alta qualidade e eficiência no tempo de entrega, faz com que as empresas tenham a necessidade de aprimorar constantemente seus processos para atender a essas demandas. Diante deste fator, a simulação computacional é uma ferramenta poderosa para a implementação de melhorias nos processos de manufatura, porque se trata da representação virtual de um sistema com diferentes cenários, o que auxilia na tomada de decisões referentes as mudanças ou melhorias que se pretende realizar. Desta forma, neste trabalho, foi utilizado um *software* de simulação computacional o *Tecnomatix Plant Simulation* para determinação do tamanho ideal de *WIPs* de uma linha de montagem de rádios automotivos do Distrito Industrial de Manaus, levando em consideração o princípio do *Just in Time (JIT)* de produzir somente o necessário e evitando a superprodução. Na simulação computacional foi utilizado os dados reais do processo de montagem, em que estes dados foram obtidos através da cronoanálise das estações de trabalho. Após o dimensionamento das *WIPs*, foi feito um dispositivo mecânico para limitar a quantidade de produtos em *WIP* e foi desenvolvido um sistema automático para controle de *FiFo* dentro desses *Buffers* utilizando o microcontrolador *Arduíno Uno*. A implementação desse sistema para limitar quantidade e controlar o *FiFo* das peças em *WIP* foi satisfatória, pois foi possível reduzir 85% do tempo de ociosidade das máquinas no processo resultando no aumento da capacidade produtiva da linha de 31 peças por hora para 33 peças por hora, o que equivale a um aumento de 6% na capacidade produtiva da linha trazendo um retorno de R\$ 14.090,79 reais por ano para a empresa em estudo, além disso, foi possível reduzir 37% do índice de defeitos ocasionados pelo endurecimento da pasta térmica dos produtos.

**Palavras-chave:** *Arduíno Uno*; Controle *FiFo*; Simulação Computacional; *WIP*.

## ABSTRACT

In light of the intensifying competition in industry and the mounting customer demands for high-quality products and efficient delivery times, companies are compelled to continuously enhance their processes to meet these expectations. In this context, computer simulation emerges as a potent instrument for implementing improvements in manufacturing processes. This is because it offers a virtual representation of a system with different scenarios, which facilitates informed decision-making regarding the changes or improvements to be made. Consequently, in this study, the Tecnomatix Plant Simulation software was employed to ascertain the optimal size of WIPs for an automotive radio assembly line in the Manaus Industrial District, with due consideration of the Just in Time (JIT) principle of producing only what is necessary and avoiding overproduction. The computer simulation utilized authentic data from the assembly process, obtained through chrono-analysis of the workstations. Following the sizing of the WIPs, a mechanical device was constructed to limit the quantity of products in the WIP. An automatic system was also developed to control FiFo within these buffers using the Arduino Uno microcontroller. The implementation of this system to limit the quantity and maintain the FiFo of the WIP parts was satisfactory, as it was possible to reduce the idle time of the machines in the process by 85%, resulting in an increase in the production capacity of the line from 31 parts per hour to 33 parts per hour, which is equivalent to a 6% increase in the production capacity of the line, bringing a return of R\$ 14.090.79 reais per year for the company under study, in addition, it was possible to reduce the rate of defects caused by the hardening of the thermal paste of the products by 37%.

**Keywords:** *WIP, Computer Simulation, FiFo Control, Arduino Uno.*



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de Gestão de Materiais .....	16
Figura 2 – Cadeia de Estoques de um Setor Produtivo .....	20
Figura 3 – Etapas da Realização de um Processo de Simulação .....	27
Figura 4 – Interface de Simulação do <i>Software Plant Simulation</i> .....	29
Figura 5 – Microcontrolador Arduino Uno .....	33
Figura 6 – Layout do processo de montagem de rádios automotivos .....	36
Figura 7 – Fluxograma da linha de montagem automotiva.....	37
Figura 8 – Gráfico de Fluxo de sinais do sistema.....	42
Figura 9– Descrição do Processo Metodológico do Projeto .....	43
Figura 10– Gráfico de capacidade produtiva das estações de montagem .....	44
Figura 11– Detalhamento da necessidade de utilização de WIPs .....	46
Figura 12– Análise <i>Yamazumi</i> das estações de montagem.....	46
Figura 13– Simulação do Processo de montagem.....	47
Figura 14– Relatório gerado pela ferramenta “ <i>ExperimentManager</i> ” .....	48
Figura 15– Suportes mecânicos de <i>WIP</i> .....	49
Figura 16– Esquema elétrico do circuito desenvolvido para uma <i>WIP</i> de 3 peças .....	50
Figura 17– Esquema pneumático do circuito desenvolvido para uma <i>WIP</i> de 3 peças .....	50
Figura 18– Placa de circuito impresso desenvolvida.....	51
Figura 19– Encapsulamento do circuito .....	52
Figura 20– Sistema de controle de <i>wip</i> com controle de <i>fifo</i> .....	52
Figura 21– Eliminação de desperdícios após a implementação dos <i>wips</i> .....	53
Figura 22– Análise da capacidade produtiva da linha após implementação dos <i>wips</i> .....	55
Figura 23– Análise da quantidade de defeitos por endurecimento de <i>GAP Filler</i> .....	55

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais Áreas da Gestão de Materiais .....	17
Quadro 2 – Classificação dos Principais Tipos de Estoque.....	19
Quadro 3 – Tipos de desperdícios de processos .....	23
Quadro 4 – Ferramentas para Melhorias de Processo .....	24
Quadro 5 – Principais Ferramentas do Software Plant Simulation .....	30
Quadro 6 – Tomada de tempos em segundos das estações de trabalho .....	38
Quadro 7 – Metodologia para cálculo de erro e nível de confiança .....	38
Quadro 8 – Componentes utilizados do Toolbox do Plant Simulation .....	40
Quadro 9 – Descrição de cada estado considerado no sistema.....	42
Quadro 10– Gráfico de capacidade produtiva por estação de montagem .....	45
Quadro 11– Yamazumi antes de impletar o sistema de WIP. ....	54
Quadro 12– Yamazumi depois de impletar o sistema de WIP. ....	54

## LISTA DE SIGLAS

WIP – *Work in Process*

LiFo – *Last in First out*

FiFo – *First in First out*

JIT – *Just in Time*

VA – *Value Added*

NVA – *Non-Value Added*

BVA – *Business Value Added*

MES – *Manufacturing Execution Systems*

PWM – *Pulse Width Modulation*

USB – *Universal Serial Bus*

AFT – *Automatic Functional Test*

MFT – *Manual Functional Test*

GSL – *General Inspections of Screws and Labels*

PCB – *Printed Circuit Board*

UPH – *Unit per Hour*

MRP – *Manufacturing Resource Planning*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização do tema</b> .....	<b>11</b>
<b>1.2</b>	<b>Situação problema</b> .....	<b>12</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.3.1	Objetivo geral.....	13
1.3.2	Objetivos específicos.....	14
<b>1.4</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>14</b>
<b>1.5</b>	<b>Estrutura da dissertação</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓICO</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Gestão de materiais</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Gestão de estoques</b> .....	<b>18</b>
<b>2.3</b>	<b><i>Just In Time</i></b> .....	<b>20</b>
<b>2.4</b>	<b>Melhoria de processos</b> .....	<b>22</b>
2.4.1	Tipos de desperdícios.....	22
2.4.2	Ferramentas para melhorias de processos .....	23
<b>2.5</b>	<b>Simulação computacional</b> .....	<b>26</b>
2.5.1	Metodologia da simulação de processos.....	27
<b>2.6</b>	<b><i>Software Tecnomatix Plant Simulation</i></b> .....	<b>28</b>
<b>2.7</b>	<b>Sistemas embarcados</b> .....	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>PERCURSO METODOLÓGICO</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Natureza da pesquisa</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2</b>	<b>Objetivos da pesquisa</b> .....	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b>Abordagem da pesquisa</b> .....	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Procedimentos da pesquisa</b> .....	<b>35</b>
<b>3.5</b>	<b>Detalhamento do processo de montagem</b> .....	<b>35</b>
<b>3.6</b>	<b>Aquisição e análise de dados do processo</b> .....	<b>37</b>
<b>3.7</b>	<b>Simulação computacional</b> .....	<b>39</b>
<b>3.8</b>	<b>Desenvolvimento do sistema de controle de <i>WIP</i></b> .....	<b>41</b>
<b>3.9</b>	<b>Análise dos resultados</b> .....	<b>43</b>
<b>3.10</b>	<b>Operacionalização da pesquisa</b> .....	<b>43</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Coleta de dados do processo de montagem de rádios automotivos</b> .....	<b>44</b>

<b>4.2</b>	<b>Simulação computacional do processo .....</b>	<b>47</b>
<b>4.3</b>	<b>Sistema de controle de <i>WIPs</i> .....</b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Implantação do sistema na linha de montagem .....</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>56</b>
<b>6</b>	<b>CONTRIBUIÇÕES.....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>59</b>
	<b>ANEXO A – ESQUEMA ELÉTRICO DO SISTEMA FIFO .....</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXO B – ESQUEMA ELETROPNEUMÁTICO DO SISTEMA FIFO.....</b>	<b>71</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste tópico, são abordados a contextualização do tema do projeto, os objetivos a serem alcançados, a justificativa do estudo e a estrutura geral do trabalho.

## 1.1 Contextualização do tema

A gestão de materiais é um fator fundamental para uma empresa, pois é a área responsável por todos os recursos que transitam na cadeia produtiva, ela engloba desde os materiais que estão entrando na fábrica, o armazenamento destes materiais, a gestão de estoques, controle de estoques intermediários até os materiais que estão saindo da empresa para entrega ao consumidor final (Silva; Paula, 2020; Campagnaro, 2019).

Neste trabalho, o foco será voltado para a gestão de estoques intermediários ou *WIPs*. O *WIP* (*Working in process*) consiste em estoque de materiais em processamento dentro da linha de montagem, ou seja, são produtos *semi-montados* ou em aguardo para serem montados e que estão armazenados entre as estações de trabalho (Covic *et al.*, 2020).

Ademais, a gestão de material também é responsável pelo sequenciamento de materiais ou ordem em que estes são retirados do estoque. Para que isso ocorra, existem dois principais tipos de métodos, o *FiFo* onde o primeiro material que entra no estoque é o primeiro que deve sair e o método *LiFo*, que é a forma de processamento de materiais em que o último a entrar é o primeiro a sair (Sembiring *et al.*, 2019; Morais, 2021).

Juntamente com a gestão de materiais, está a gestão de processo, que engloba o controle dos processos internos de uma fábrica, é responsável por controlar recursos como a capacidade de produção, *layout*, balanceamento de linha e engloba também os recursos de melhorias de processo (Campagnaro, 2019; Fernandes; Fernandes Neto, 2021).

Neste contexto, para que a gestão de estoques intermediários ocorra de maneira adequada, é necessário utilizar os recursos da gestão de processos, pois ambas funcionam em conjunto, ou seja, o tamanho dos estoques intermediários deve ser definido conforme a demanda prevista para a linha de montagem e o fluxo do processo de montagem ou *layout* deve ser pensado conforme o tipo de sequenciamento de materiais definidos pela gestão de materiais (Fernandes, 2020).

A gestão de processos também é fundamental para que as empresas se mantenham no mercado competitivo, por englobar diferentes recursos para melhorias de seus processos com o

intuito de atender às demandas dos clientes (Nyland, 2023; Araújo *et al.*, 2020). Dentre os mais diferentes tipos de recursos para auxiliar na melhoria de processos estão os *softwares* de simulação computacional.

Os *softwares* de simulação de processos são importantes para se obter uma visão mais detalhada e ampla do ambiente fabril, onde é possível verificar pontos de melhorias, gargalos, fluxo de entrada e saída de materiais, utilização de recursos como máquinas, equipamentos, mão de obra e identificar as perdas dos processos, em que muitas vezes passa despercebido a uma análise mais usual (Ferreira *et al.*, 2020; Oliveira; Bertoluci, 2021).

Além disso, por meio da simulação computacional é possível verificar e testar vários tipos de soluções com maior economia, uma vez que não é necessário alterar um sistema físico para verificar qual a melhor solução para o sistema ou processo em estudo (Lucas *et al.*, 2022).

A simulação computacional pode ser empregada para diferentes finalidades, como na definição de gargalos de linha de produção, planejamento ou reorganização de novos *layouts*, definição de fluxos de materiais, definição de tamanho de estoques e controle de tamanho dos estoques intermediários (Fedorko *et al.*, 2022; Martins *et al.*, 2021).

Para fins de operacionalização do estudo, foi utilizado um *software* de simulação computacional para simular uma linha de produção de autorrádios com o intuito de determinar o tamanho ideal das *WIPs* no processo de montagem em estudo, além disso, foi definido um método para o controle de *FiFo* dentro dos *WIPs* existentes.

## **1.2 Situação problema**

A gestão de estoques intermediários quando feita de forma inadequada, se torna um dos grandes desperdícios de uma linha de produção, pois oculta problemas de gestão, qualidade e interfere na eficiência financeira e na imagem da empresa porque impacta diretamente na satisfação dos clientes, ou seja, uma gestão eficiente contribui para a lucratividade da organização (Virgens *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2021).

Ao se tratar de gestão de estoques intermediários, para que o trabalho realizado dentro das linhas de produção seja eficiente, é necessário limitar o tamanho do *WIP*, porque sem limitá-lo é difícil encontrar os processos ineficientes e as perdas da linha, gera superprodução e impacta no tempo de entrega final, na qualidade dos produtos e ocasiona a insatisfação dos clientes (Hemalatha *et al.*, 2021, Giacomini *et al.*; Servare Junior, 2022). O controle do tamanho

do *WIP* na linha de produção faz com que se mantenha o fluxo contínuo e evita o excesso de estoque.

Neste contexto, na linha de montagem de autorrádios que foi objeto de estudo desse projeto, possui problemas relacionados tanto a quantidade de peças estocadas entre as estações de trabalho, quanto à ordem com que elas são retiradas do *buffer*, ocasionando em problemas de montagem, dificuldade no atendimento da demanda e qualidade do produto.

Isto ocorre devido ao fato de que na linha de montagem de autorrádios não possui *WIPs* ou *buffers* fixos com capacidade determinada entre as estações de trabalho, fazendo com quando ocorra variação na demanda ou algum problema relacionado as máquinas, o setor de produção estoque rádios em caixas e em uma quantidade maiores que o necessário ocorrendo superprodução, ou seja, não obedecendo desta forma, o princípio *JIT*.

A não limitação do tamanho do *WIP* na linha de montagem impacta na capacidade de produção da linha, pois caso não tenha a quantidade mínima necessária dentro do buffer ocorre maior tempo de espera e ociosidade das máquinas ou excesso de material em processamento na mesma.

Além disso, a falta do controle de *FiFo* destes materiais do *WIP* resulta em defeitos de montagem do produto, uma vez que nas suas placas de circuito impresso são aplicados um químico, o *Gap Filler*, que consiste em um preenchedor de lacunas termicamente condutivas, e, após um tempo de sua aplicação, este material resseca e dificulta a montagem da tampa do produto e conseqüentemente gera falha no encaixe de conectores, resultando em falha funcional do mesmo, ou seja, sem o controle de *FiFo*, um único produto pode ficar mais tempo que o necessário e resultar em retrabalho.

Diante desse contexto, definiu-se a questão norteadora deste projeto como: **Como definir o tamanho e sequência de *FIFO* dos *WIPs* de uma linha de montagem de autorrádios?**

### 1.3 Objetivos

Neste tópico são abordados os objetivos a serem alcançados neste projeto.

#### 1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema para controle de tamanho e sequência *FiFo* dos *WIPs* de uma linha de montagem de autorrádios.



### 1.3.2 Objetivos específicos

- Mapear o fluxo atual da linha montagem em estudo;
- Simular a linha de montagem com a implementação de *WIPs*;
- Implementar o sistema de controle na linha montagem;
- Validar o sistema através da comparação dos resultados do *output* da linha de montagem com os obtidos após a implementação dos *WIPs*.

## 1.4 Justificativa

A competitividade no ambiente industrial e as exigências dos clientes por produtos de qualidade e alta eficiência no tempo de entrega, faz com que as empresas tenham a necessidade de melhorar seus processos constantemente. Diante disto, a gestão de estoques é um fator estratégico para alavancar o nível de atendimento das organizações no mercado competitivo, garantido maior disponibilidade de produto aos clientes, com o menor nível de estoque possível (Pereira, 2021; Cruz, 2022).

O excesso de *WIP* é considerado um desperdício e faz com que as empresas busquem melhorar a eficiência destes, através da implementação de melhorias, otimizações e dimensionamento. Devido a isso, surge a necessidade da utilização de tecnologias da informação e de modelos dinâmicos de simulações digitais como ferramentas de auxílio gerencial na tomada de decisões (Pereira, 2021; Morais, 2021).

A utilização da simulação computacional é uma ferramenta poderosa neste contexto, uma vez que com a crescente competitividade, a necessidade de obter soluções com o menor custo e no menor tempo possível se tornar uma vantagem competitiva, porque com esta ferramenta, é possível testar diferentes soluções sem alterar o ambiente real de estudo e permite verificar diversas variantes de um sistema de produção além das relacionadas a dimensionamento de estoques (Morais *et al.*, 2021 Martins *et al.*, 2021).

A análise dos processos industriais através da simulação computacional, permite que os engenheiros verifiquem a validade das suas suposições antes da sua implementação real, ou seja, é possível aplicar e testar as diferentes ferramentas estudadas no âmbito da engenharia de produção, sem a necessidade de parar a produção, minimizando custos, encontrando perdas, além da possibilidade de coletar e analisar dados e até mesmo propor otimizações ou automações (Holtz, 2020; Lucas *et al.*, 2022).

Denota-se que o estudo da melhoria de processos industriais é de grande importância para a aplicação das ferramentas de engenharia de produção e para os profissionais da área, devido às demandas do mercado, uma vez que, para atender aos seus requisitos, é necessário realizar análises que não impactem o processo produtivo e obter soluções com a menor chance possível de falhas, além do mais é importante para demonstrar de forma prática, os conceitos abordados na área de engenharia da produção.

### **1.5 Estrutura da dissertação**

Para melhor entendimento sobre este trabalho, ele foi dividido da seguinte forma:

No tópico 1, foi apresentada a introdução composta por contextualização do tema, situação problema, objetivo geral e específico, justificativa e estrutura do projeto de pesquisa.

No tópico 2, são abordados os conceitos que fundamentam este projeto, tais como gestão de materiais, melhoria de processos e simulação computacional.

No tópico 3, é abordada a metodologia que será utilizada na execução do projeto.

No tópico 4, são descritos os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do trabalho e no tópico 5 é apresentado o cronograma adotado para a execução do projeto.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

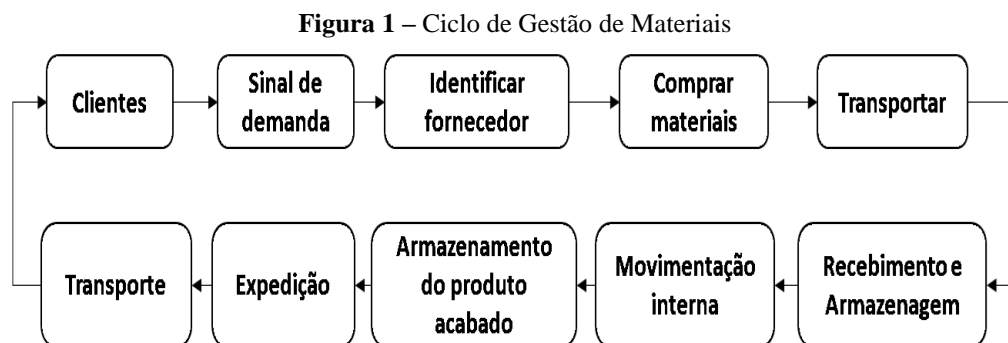
Neste tópico serão abordados os principais conceitos que fundamentam este trabalho.

### 2.1 Gestão de materiais

A gestão de materiais é um método que coordena a avaliação da necessidade, fornecimento, compra, transporte, armazenamento e o controle de materiais visando minimização de desperdícios, com o intuito de reduzir o custo de produção do produto acabado (Patil; Dhawale, 2022).

Para Maqueira *et al.* (2021), o termo gestão de materiais ou gestão da cadeia de suprimentos é definido como o conjunto de ações que englobam o gerenciamento, planejamento e controle de operações para facilitar o fluxo de materiais entre fornecedores, produtores, distribuidores e clientes.

A gestão de materiais está diretamente ligada à forma de gerenciamento da parte física das organizações, tendo como objetivo garantir o fornecimento dos bens necessários para a operacionalidade da produção final e entrega ao cliente, ou seja, a gestão de materiais trata-se do planejamento e gestão desde a identificação do fornecedor até a fase de distribuição ao consumidor final, garantindo que os produtos sejam entregues na quantidade correta, no lugar certo e no momento correto (Nunes, 2013; Leite; Nogueira, 2022). O sistema de gestão de materiais é exemplificado na Figura 1.



Fonte: Adaptado de Nunes (2013).

Na Figura 1, é demonstrada a sequência do ciclo de gerenciamento de materiais, em que respectivamente ocorrem as tratativas iniciais com clientes, sinais de demanda, em seguida a identificação dos fornecedores de matéria-prima, a compra desses materiais, o gerenciamento

e definição do transporte até a empresa que irá fornecer o produto final para o cliente. Em seguida, é feito o controle e gerenciamento dos materiais que chegam dos fornecedores, e após isso, o controle da movimentação interna destes materiais, ou seja, a definição da quantidade e de onde os materiais serão alocados ou alimentados dentro do setor produtivo, em seguida ocorre o processamento destes materiais nas linhas no setor produtivo, os mesmos são armazenados em estoques de produtos acabados e enviados para a expedição, e por fim transportados até o cliente final (Martins; Alcântara, 2022; Nunes, 2013).

Ao longo destas etapas, ocorre o controle e gerenciamento da quantidade de materiais que deverá ser entregue em um determinado prazo estipulado, conforme solicitação do cliente ou demanda, capacidade de entrega dos fornecedores, capacidade produtiva da empresa que irá processar a matéria-prima, tamanho do estoque disponível e entre outras fases de gerenciamento.

De acordo com Fenili (2016), a gestão de recursos de materiais de uma organização é agrupada em três principais áreas: a gestão de centros de distribuição, gestão de compras e gestão de estoques, que estão descritas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Principais Áreas da Gestão de Materiais

<b>Áreas da Gestão de Materiais</b>	
<b>Área</b>	<b>Descrição das Atividades</b>
Gestão de centros de distribuição	Recebimento, armazenagem, distribuição, movimentação de materiais etc.
Gestão de compras	Identificação de fornecedores, pesquisa de preços, negociação com o mercado, compras diretas etc.
Gestão de estoques	Análise de custos de estoque, previsão de consumo, operacionalização dos sistemas de reposição de estoques, inventários etc.

**Fonte:** Adaptado de Fenili (2016).

A gestão de centros de distribuição é comumente realizada logo após o início do ciclo e na fase final do ciclo, ou seja, desde o recebimento dos materiais na fábrica até o transporte do produto acabado ao cliente. Já a gestão de compras ocorre no início do ciclo, que é onde ocorrem as tratativas com cliente e fornecedor e por último a gestão de estoques que ocorre na maioria das fases do ciclo de gestão de materiais, desde a definição do tamanho de estoque, inventário, dentre outros (Fenili, 2016; Sá 2021). Embora existam estes três principais nichos da gestão de materiais, este trabalho terá foco na área de gestão de estoques, que será abordada no subtópico seguinte.

## 2.2 Gestão de estoques

O gerenciamento de estoques é um conjunto de atividades com a finalidade de atender às necessidades de materiais dentro de uma organização. Para Silva (2019), a gestão de estoques tem como objetivos principais o atendimento da demanda, reduzir os custos de estoques e manter a eficiência das operações de suprimento.

A gestão de estoques possui um papel preponderante para a estratégia de uma organização, uma vez que influencia diretamente na sua competitividade perante o mercado, pois quando feita de forma eficaz gera bons resultados para a empresa, promovendo a disponibilidade de produtos mesmo em meio a variações de demanda no mercado, caso contrário, pode causar insuficiências de recursos, prejudicando o capital de giro, ou seja, a gestão de estoques é responsável por definir a quantidade correta de materiais estocados na empresa (Chagas, 2020).

O gerenciamento de estoques visa suprir a necessidade de controlar e melhorar a organização dos produtos de uma empresa e tem a função de definir se um determinado material ou produto deve permanecer no estoque, determinar o tempo de reabastecimento do estoque, planejamento da quantidade de materiais que serão solicitados, o cuidado com o armazenamento dos materiais e o acesso às informações sobre o estoque (Alves, 2021; Sá, 2021; Silva, 2019).

Devido a isto, o gerenciamento de estoques é o nicho mais importante da gestão de materiais para o seguimento produtivo e vai muito além do armazenamento de matéria-prima em um depósito, porque todos os materiais presentes na empresa fazem parte do estoque e de devem ser gerenciados de forma eficaz e abrangente para evitar perdas de capital devido materiais inertes na cadeia produtiva (Silva *et al.*, 2021). Nesse contexto, ao se abordar gestão de estoques é fundamental a definição de alguns conceitos que norteiam a implementação de uma gestão eficaz, como o conceito, classificação e definição dos tipos de estoques.

O estoque é definido como a composição de materiais ou bens físicos que sejam conservados, de forma improdutiva, por algum intervalo de tempo, e existe devido a uma determinada necessidade da empresa ou negócio, ou seja, são usados para conferir sustentabilidade às atividades da empresa, para atender às demandas dos clientes (Alves, 2021; Souza, 2023).

Para Mazetto (2020), o estoque é toda matéria-prima ou produto em processo; produto acabado, pronto para a distribuição; necessitado de manutenção, de reparo ou de operação. Os tipos de estoques podem ser classificados conforme mostrado no Quadro 2.

**Quadro 2 – Classificação dos Principais Tipos de Estoque**

<b>Classificação dos Principais Tipos de Estoque</b>	
<b>Tipos</b>	<b>Descrição</b>
Estoque de matérias-primas	Todos os materiais são usados no processo de transformação do produto final, ou seja, são materiais básicos e necessários para a produção do produto acabado.
Estoques de Produtos Secundários	Não constituem o produto final, mas são imprescindíveis para sua fabricação, como por exemplo, parafusadeiras, pistolas de pintura etc.
Estoque de materiais em processamento	Consistem em materiais que estão em processamento ao longo das etapas do processo produtivo.
Estoque de materiais semiacabados (WIP)	São produtos que já entraram em produção, mas ainda não são produtos acabados, ficam normalmente estocados entre os postos de trabalho.
Estoque de materiais acabados	São compostos por peças isoladas ou componentes finalizados e prontos para serem anexados aos produtos.
Estoque de produtos acabados	Produtos prontos ou totalmente processados na cadeia produtiva.

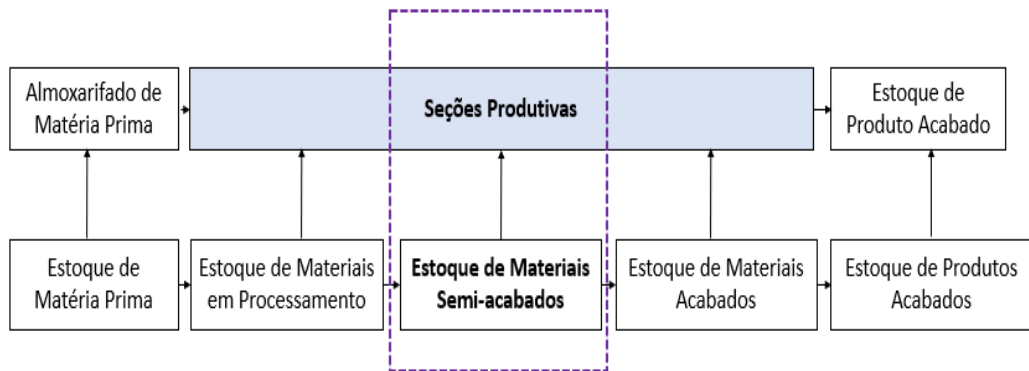
**Fonte:** Adaptado de Alves (2021).

Todos os tipos de estoques citados no Quadro 1 fazem parte do sistema de gestão de estoques, ou seja, deve ocorrer o correto gerenciamento desde os estoques de matérias-primas acumuladas em uma determinada quantidade e aguardam o processo de manufatura até os estoques de produto acabados que estão aguardando a venda (Silva *et al.*, 2021). Na Figura 2, são demonstrados estes diferentes tipos de estoque dentro da sequência de um setor produtivo.

Na Figura 2, é abordado o ciclo de estoques, que vai desde o estoque de matéria-prima que são os materiais necessários para montagem dos produtos na linha de produção até o estoque de produtos acabados, no entanto, este trabalho terá como foco os estoques de materiais semi-acabados *ou* *WIP (Working in Process)* conforme é destacado na Figura 2 e descrito no Quadro 2.

No entanto, para o gerenciamento eficaz, além do conhecimento dos tipos de estoques existentes e sua localização dentro da cadeia produtiva, é necessário utilizar métodos de priorização ou sequenciamento de materiais que devem ser utilizados de acordo com o definido pela organização.

**Figura 2** – Cadeia de Estoques de um Setor Produtivo



**Fonte:** Adaptado de Souza (2023).

Os métodos de sequenciamentos mais utilizados na gestão de estoques consistem no *FiFo* (*First In First Out*) em que o processamento de materiais ocorre conforme sua ordem de chegada, ou seja, o primeiro que entra é o primeiro que sai; e no método *LiFo* (*Last In First Out*), que é a forma de processamento de materiais na qual o último a entrar é o primeiro a sair, este último é comumente utilizado em carregamento de contêineres, agrupamentos de entregas (Silva, 2019; Tubino, 2017). Contudo, neste trabalho será utilizado o método de sequenciamento de materiais *FiFo*, que é o método utilizado como padrão nas linhas produtivas da empresa em estudo.

### 2.3 *Just In Time*

O *Just in Time (JIT)* é uma ferramenta de gestão desenvolvida no Japão na década de 70 após a Segunda Guerra Mundial pelo engenheiro mecânico Taiichi Ohno na empresa *Toyota Motor Company*, tendo como objetivo eliminar desperdícios relacionados aos estoques de materiais para que a empresa atendesse a demanda durante o cenário pós-guerra, pois, neste período, ela não possuía espaço suficiente para suas operações de fabricação e armazenamento e estavam com dificuldades para manter altos níveis de estoques (Suthar, 2022; Ribeiro *et al.*; Villanueva; Chavéz, 2020; Silva, 2019; Abraão Junior *et al.*, 2022).

O *JIT* é considerado como uma ferramenta de gerenciamento de estoques, que tem como filosofia a eliminação do estoque de materiais em excesso, ou seja, o foco do gerenciamento de estoque *Just in time* é reduzir a quantidade e melhorar a qualidade do estoque o máximo possível, garantindo a posição de estoque zero e tendo como consequência a redução do custo na gestão destes estoques (Xu, 2021; Siddiqui, 2022; Ribeiro *et al.*, 2020).

O princípio do *Just in Time* é produzir somente o necessário, no momento certo, com a qualidade especificada sem desperdiçar recursos ao longo da cadeia produtiva, reduzindo assim o nível de estoques ou inventários e atendendo à demanda dentro do prazo estipulado, dessa forma, os produtos somente são adquiridos e produzidos conforme e quando necessário, tendo como resultado a redução dos custos de manutenção de estoques (Balaji *et al.*, 2021; Villanueva; Chavéz, 2020; Abraão Junior *et al.*, 2022).

A implementação do *JIT* é focada na eliminação dos desperdícios, para produzir com o menor custo possível, o menor tempo produção e o menor lead time de entrega, além de ser considerado uma ferramenta que engloba aspectos como a gestão de materiais, arranjo físico, entre outros fatores (Nogueira *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2019; Fenili, 2016; Machado, 2022).

Neste contexto, no sistema de produção da Toyota, o *WIP* (*Working in Process*) excessivo é visto como desperdício que deve ser minimizado ou removido porque ocasiona aumento no *lead time* e descaracterização do lote de produção, ou seja, em um sistema de fabricação *JIT* ideal produz e entrega somente a quantidade necessária de cada componente na sequência de montagem para operação posterior, exatamente quando esse componente é necessário, resultando na minimização do tempo de espera para *WIP* e fabricação, bem como o espaço e os custos investidos em *WIP* (Afriansyah; Saladin, 2019; Abraão Junior *et al.*, 2022).

Quando o *JIT* é aplicado corretamente em sistema de produção, possibilita aos gestores uma visão geral de seus estoques de forma que não ocorra perdas, além de facilitar o controle das operações, porém sem o devido acompanhamento, pode resultar em atrasos na entrega dos produtos aos clientes (Silva *et al.*, 2019, Machado, 2022).

Além disto, para que o sistema de *JIT* funcione não basta apenas reduzir o tamanho dos estoques, mas é necessário que as linhas de produção estejam balanceadas, que as entregas sejam feitas dentro do prazo, não tenha defeitos dos materiais e componentes, fornecedores confiáveis e mão de obra cooperativa (Afriansyah; Saladin, 2019; Ono; Pinaffi, 2022).

Desta forma, são vários os fatores dentro da cadeia produtiva que devem ser controlados e melhorados continuamente para que a filosofia do *Just in time* seja aplicada corretamente e tenha bons resultados para a organização ou empresa.

A implementação do *JIT* traz muitos benefícios para a organização, tais benefícios consistem na redução de custos, aumento da qualidade, aumento da flexibilidade através da redução do tempo de processamento de materiais, velocidade e agilidade nos processos produtivos e confiabilidade por parte dos clientes (Venturini *et al.*, 2021; Carlos; Mariano, 2020).



Em relação às limitações, a principal delas é quanto à demanda, que necessita ser estável, para que haja equilíbrio dos recursos, pois caso seja muito instável, é necessário a manutenção de estoque de produtos acabados para que a demanda sentida pela produção tenha determinada estabilidade. Outra desvantagem é que este sistema necessita de grande investimento em treinamentos para que todos da cadeia produtiva realizem as atividades conforme estipulado (Fenili, 2016; Melo *et al.*, 2022; Carlos; Mariano, 2020).

## **2.4 Melhoria de processos**

O termo melhoria de processos surgiu entre os anos de 1970 e 1980, em que o foco das melhorias estava voltado para a gestão da qualidade, fluxo contínuo e eficiência das atividades, isso se dava porque nesta época já existia uma grande preocupação em relação a qualidade dos produtos, ou seja, todos os produtos deveriam possuir a mesma característica e não poderiam apresentar defeitos (Santos *et al.*; Carvalho, 2021).

A melhoria de processos é uma metodologia amplamente aplicada na indústria de manufatura e serviços que visa aumentar a qualidade dos produtos ou serviços, redução dos prazos de entrega, redução de custos e melhoria na confiabilidade, ou seja, a melhoria de processos é uma das principais estratégias das empresas para manter a competitividade no mercado e manter a excelência na satisfação dos clientes (Aichouni *et al.*, 2020; Mendes, 2023).

Neste contexto, a melhoria das atividades industriais engloba diferentes conceitos e ferramentas que são aplicados conforme a filosofia, indicadores e a necessidade dos processos de uma organização, as melhorias podem ser aplicadas para melhorar a qualidade dos produtos ou melhoria do índice de defeitos, melhorar a produtividade e aumentar a capacidade de produção, melhoria ergonômica entre outros tipos (Coleone; Fróes, 2019; Pereira *et al.*, 2021).

É de grande importância entender e estudar os processos de fabricação para melhorá-los por meio de uma abordagem sistemática, o que requer o conhecimento de ferramentas e metodologias de melhorias de processos (Salgado *et al.*, 2019; Aichouni *et al.*, 2020). Nos tópicos seguintes, serão abordadas algumas das ferramentas utilizadas para melhorias de processos.

### **2.4.1 Tipos de desperdícios**

Um fator fundamental para melhorar processos é conhecer os tipos desperdícios existentes dentro das atividades executadas, porque no geral os mesmos devem ser eliminados

para que se obtenha os resultados esperados, ou seja, conhecer os tipos de desperdícios do processo norteiam de onde deve ser o foco da melhoria e quais decisões devem ser tomadas (Rodrigues, 2017; Santos Filho, 2021).

O desperdício é definido como toda atividade em uma operação que requer a utilização de recursos, porém não possui valor agregado ao cliente. Neste contexto, as operações industriais são classificadas como atividades que agregam valor (VA), atividades que não agregam valor ao produto (NVA) e atividades que não agregam valor ao negócio, mas são necessárias (BVA), no geral, o foco para classificação é identificar o NVA e trabalhar nelas, para reduzir o tempo das operações e como consequência obter uma melhoria no processo produtivo, seja de qualidade ou capacidade (Viana *et al.*; Carminati, 2017; Santos Filho, 2021). No Quadro 3, são descritos os principais tipos de desperdícios ou perdas nos processos.

Os desperdícios descritos no Quadro 3 são comuns nos diferentes processos industriais, e, ao eliminá-los ou reduzi-los, é possível obter ótimos ganhos para a organização. Devido a este fator, são abordadas as diferentes ferramentas para eliminação destes desperdícios com o intuito de melhorar seus processos, tornando-os cada vez mais enxutos e aumentando a competitividade.

**Quadro 3** – Tipos de desperdícios de processos

<b>Tipos</b>	<b>Descrição</b>
Espera (Tempo Ocioso ou sem trabalho)	Longos períodos de ociosidade de pessoas e produtos, resultando em altos lead times.
Transporte Excessivo	Excesso de movimento de pessoas, informações ou produtos. Ocasionalmente desperdício de capital, tempo, mão de obra e energia.
Superprodução	Produção excessiva ou antecipada, resultando em excesso de inventário e ocasionando perdas por produtos defeituosos.
Estoques (WIP)	Elevado nível de matéria-prima, material em processamento, gerando custos financeiros e necessidade de maior espaço físico.
Movimento Desnecessário	Desorganização do posto de trabalho, resultando em problemas ergonômicos e perda frequente de itens.
Defeitos	Problemas de qualidade ou baixo desempenho dos produtos.
Processamento	Operações desnecessárias ou incorretas.

**Fonte:** Adaptado de Amorin *et al.* (2020); Salgado *et al.* (2019); Viana *et al.* (2017).

#### 2.4.2 Ferramentas para melhorias de processos

Atualmente, existem diferentes tipos de ferramentas e metodologias que auxiliam na tomada de decisões que levam a realizar melhorias nos processos de manufatura. As

ferramentas facilitam a identificação dos desperdícios, ajudam a entender que as reais perdas do processo produtivo são fundamentais para uma análise correta deste processo (Amorin *et al.*, 2020; Carvalho, 2021; Silva, 2015; Viela; Guedes, 2019). Algumas das ferramentas de melhorias de processos são mostradas no Quadro 4.

**Quadro 4** – Ferramentas para Melhorias de Processo

<b>Tipos de Ferramentas</b>	<b>Descrição</b>	<b>Referências</b>
5s	É uma ferramenta que teve origem no Japão e é muito utilizada não só na indústria, mas em diferentes setores e possui 5 princípios: 1° Seiri: Senso de Utilização; 2° Seiton: Senso de Ordenação; 3° Seiso: Senso de Limpeza; 4° Seiketsu: Senso de Saúde; 5° Shitsuke: Senso de disciplina.	(Silva, 2015; Curcio <i>et al.</i> , 2019).
Cronoanálise	A cronoanálise é uma técnica utilizada para obtenção dos tempos de um determinado processo, cujo principal objetivo é obter os tempos de ciclo de cada etapa, identificar gargalos, obter capacidade produtiva e é utilizada nos processos de balanceamento de linha.	(Caldeira <i>et al.</i> , 2020; Camelo, 2019; Siqueira <i>et al.</i> , 2021).
Mapeamento de Processos	É uma ferramenta que evidencia o fluxo de um processo com o tempo e as pessoas envolvidas em cada etapa do mesmo.	(Stephani, 2020; Bertochi, 2019)
<i>Yamazumi</i>	O gráfico de Yamazumi é uma ferramenta visual utilizada para detalhamento dos tempos de cada atividade em um ciclo de trabalho, onde essas atividades podem ser classificadas como valor agregado (VA), não agrega valor, mas são necessários (BVA) e não agrega valor (NVA).	(Fonseca, 2020; Reis, 2021).
Pareto	Essa ferramenta tem a finalidade de identificar possíveis ações que podem resolver um determinado problema e prioriza os problemas com maior índice.	(Silva Filho <i>et al.</i> , 2019)
6M ou Espinha de Peixe	Essa ferramenta busca evidenciar e classificar as causas de determinado problema por categorias. As categorias são divididas em: Método, mão-de-obra, material, máquina, meio ambiente e medida e por este motivo também são conhecidos como 6M's.	(Silveira; Zupa, 2021; Silva Filho <i>et al.</i> , 2019)
Fluxograma	O Fluxograma consiste em uma representação gráfica de atividades ou procedimentos, onde é indicado a sequência e fluxo das atividades de um processo.	(Curcio <i>et al.</i> , 2019; Viela; Guedes, 2019)

**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

Conforme mostrado no Quadro 4, existem muitos tipos de ferramentas utilizadas para a gestão ou melhoria de processos, em que o estudo destas ferramentas é de grande importância para o profissional da área, uma vez que é necessário o entendimento de como e em que situações as mesmas devem ser aplicadas. Dentro do contexto dos objetivos deste trabalho,

foram utilizadas as ferramentas de mapeamento de processos, *yamazumi* e tempos e movimentos, para levantamentos de dados importantes do processo em estudo.

A realização do mapeamento de processos é importante porque facilita a compreensão do sistema de manufatura que está sendo estudado, por se tratar de uma descrição visual de cada etapa operacional onde é possível observar o real fluxo, visualizar os problemas de *layout* caso existam, as redundâncias, a quantidade de estoques existentes entre outras características, além disso, facilita na visualização de mudanças, melhorias e otimizações realizadas (Setiawan et al., 2021; Lima; Nogueira, 2024).

A virtualização do mapeamento do processo é normalmente feita por meio de fluxogramas, que consistem em diagramas que mostram a sequência de atividades, as decisões que são tomadas e as interações entre as estações de trabalho, em que para cada uma das interações podem ser representadas por símbolos específicos, que geralmente indicam o início, o meio e o fim de um fluxo de determinado processo (Almeida, 2023; Reis, 2021).

As etapas para realização do mapeamento de processos consistem na identificação do fluxo atual do processo que consiste no estudo do estado atual do processo e descrição de todas as etapas existentes no mesmo, a segunda etapa é o levantamento de melhorias que podem ser feitas nos problemas ou pontos de melhoria identificados na primeira etapa, em seguida é feito o planejamento das melhorias propostas e por fim o acompanhamento da eficácia dessas melhorias, através do controle dos indicadores de desempenho da empresa (Lima; Nogueira, 2024).

Assim como o mapeamento de processo, a cronoanálise ou tempos e métodos é uma ferramenta de melhoria poderosa e bastante utilizada no ambiente industrial, ela é utilizada para realização de balanceamento de linha, em que é possível obter os tempos de ciclo de cada estação de trabalho e através disto, realizar o cálculo da capacidade produtiva da linha, definição de gargalo e quantidade ideal de mão de obra (Caldeira et al., 2020).

Juntamente com a cronoanálise, o gráfico de *Yamazumi* é uma ferramenta utilizada para levantamentos de dados do processo voltados para a obtenção dos tempos das operações existentes no sistema a ser estudado, porém, se trata de uma ferramenta visual que detalha os tempos de ciclo de cada atividade, classificando-as em valor agregado (VA), atividade que não agrega valor ao negócio, mas é necessário ser realizada (BVA) e atividades sem valor agregado (NVA) (Fonseca, 2021; Reis, 2021).

Essa ferramenta fornece uma análise gráfica das operações para auxiliar na redução dos desperdícios e na maximização da eficiência produtiva, uma vez que o foco da melhoria de

processos é reduzir os desperdícios, ou seja, eliminar os fatores que impactam negativamente na capacidade produtiva da linha ou processo, ou seja, através do gráfico de *Yamazumi* tem-se a visualização dos tempos de cada operação de forma que seja mais visível onde será feita a melhoria para reduzir o tempo de ciclo das atividades, que normalmente são nos tempos classificados como *NVA* (Oliveira; Silva, 2020; Bastos et al., 2020).

A análise de *Yamazumi* é normalmente feita através da filmagem das estações de trabalho, e através dos vídeos são feitas as descrições de cada atividade realizada e extraído o tempo de cada uma das atividades, em seguida é feita a classificação em relação à agregação de valor e por fim, é gerado o gráfico para melhor visualização das perdas de cada estação de trabalho (Bastos et al., 2020).

## 2.5 Simulação computacional

A simulação computacional consiste na imitação de um processo ou sistema real e possibilita estudar o comportamento e reações do mesmo sem o alterar fisicamente, ou seja, é possível testar inúmeros cenários, soluções ou implementações por meio de um software e através do resultado obtido pode-se implementar a melhor solução no processo estudado (Rocha, 2016; Milanez, 2021). A simulação auxilia na tomada de decisões referentes a um processo ou sistema.

Desta forma, a simulação computacional é uma ferramenta poderosa para a análise e compreensão de processos e que ao longo dos anos tem trazido diversos benefícios, tais como a previsão de resultados na execução de uma mudança ou melhoria, redução de riscos na tomada de decisões, na capacidade de identificação de problemas, na eliminação de procedimentos industriais que não agregam valor, entre outros aspectos (Silva *et al.*, 2022).

A simulação computacional pode ser classificada como simulação discreta e como simulação contínua. Na simulação discreta, modela-se a operação de um sistema como uma sequência de eventos que ocorrem instantaneamente em pontos predeterminados na linha do tempo, em que neste tipo de simulação são representados apenas os pontos onde se tem uma modificação no estado do sistema estudado (Mes, 2021; Costa, 2022). Este tipo de simulação é comumente utilizado na modelagem de processos industriais, sistemas logísticos, transporte e operações em tempo real.

A simulação contínua é definida como um sistema com variáveis de estado que sofrem alterações ao longo do tempo e é utilizada na simulação de sistemas físicos que envolvem

componentes mecânicos, elétricos, térmicos ou hidráulicos e pode ser utilizado em qualquer sistema que possua mudança contínua ao longo do tempo (Costa, 2022; Bangsow, 2020). Esse tipo de simulação é frequentemente utilizado em áreas como engenharia de controle, dinâmica de fluidos e em processos químicos.

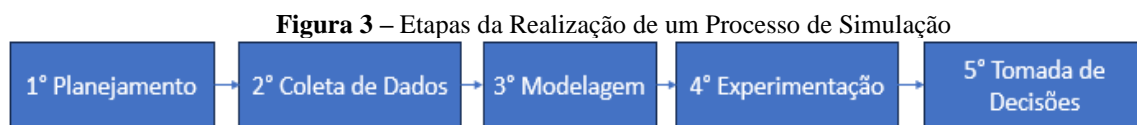
Uma das vantagens da simulação computacional, além do fato de imitar um sistema real, é que possibilita comprimir ou expandir o tempo da simulação sendo viável verificar com maior clareza os impactos de uma alteração no sistema, ajuda também a compreender como determinado sistema funciona e torna mais fácil a identificação de problemas (Milanez, 2021; Silva *et al.*, 2022).

Em relação às desvantagens, a simulação computacional pode apresentar resultados difíceis de serem interpretados, uma vez que tratam de variáveis aleatórias, podendo ser difícil de distinguir o resultado da observação, além disso, caso dois modelos forem construídos por diferentes pessoas, apesar de terem semelhanças, dificilmente serão iguais e por se tratar de uma simulação não física, existem fatores que podem não ser notados, porém, que podem acontecer no cenário real (Borges; Costa, 2022).

No entanto, apesar das desvantagens de utilização desta ferramenta, ela é muito útil para o ambiente industrial e pode ser utilizada para diferentes finalidades, seja para alteração de *layout*, melhorias no processo, entre outros tipos de aplicações.

### 2.5.1 Metodologia da simulação de processos

Para iniciar o processo de simulação de um sistema, é possível seguir algumas etapas que são norteadoras, ou seja, é necessário realizar uma sequência coerente que conduz a um resultado esperado (Rocha, 2016; Vambommel, 2022). Então, um processo de simulação possui as etapas de planejamento, coleta de dados, modelagem, experimentação e tomada de decisões conforme mostrado na Figura 3.



**Fonte:** Adaptado de Costa (2022).

Na etapa de planejamento, é realizada uma análise dos recursos disponíveis para implementação de futuras melhorias ou realização do projeto e a elaboração do cronograma do processo de simulação. Após a realização do planejamento, inicia a fase de coleta de dados do processo no qual se deseja estudar, em que são coletados dados importantes como tempos dos

postos de trabalho atuais, quantidade de mão de obra, layout atual, demanda, capacidade entre outros fatores importantes sobre o processo estudado (Milnitiz, 2018; Costa, 2022).

Na fase de modelagem, são utilizados softwares de simulação computacional nos quais é possível montar o processo real com os dados obtidos na fase de coleta de dados é nesta fase que se tem a imitação do sistema real e que é possível visualizar com maior clareza os dados do processo, as possíveis melhorias que podem ser feitas (Malega *et al.*, 2022; Milnitiz, 2018).

A etapa de experimentação é quando já se tem a simulação do processo real e é possível modificar, implementar e realizar diferentes modificações para obtenção de dados para fins de comparação e visualização de quais seriam as melhores soluções para o processo em estudo, ou seja, é uma etapa de interpretação dos dados obtidos. E, por fim, na etapa de tomada de decisões, ocorre a comparação da simulação obtida com os modelos já existentes, nesta fase são mostrados os ganhos ou impactos que podem ocorrer no sistema real, caso ocorra a implementação obtida por meio da simulação (Vambommel, 2022).

## 2.6 *Software Tecnomatix Plant Simulation*

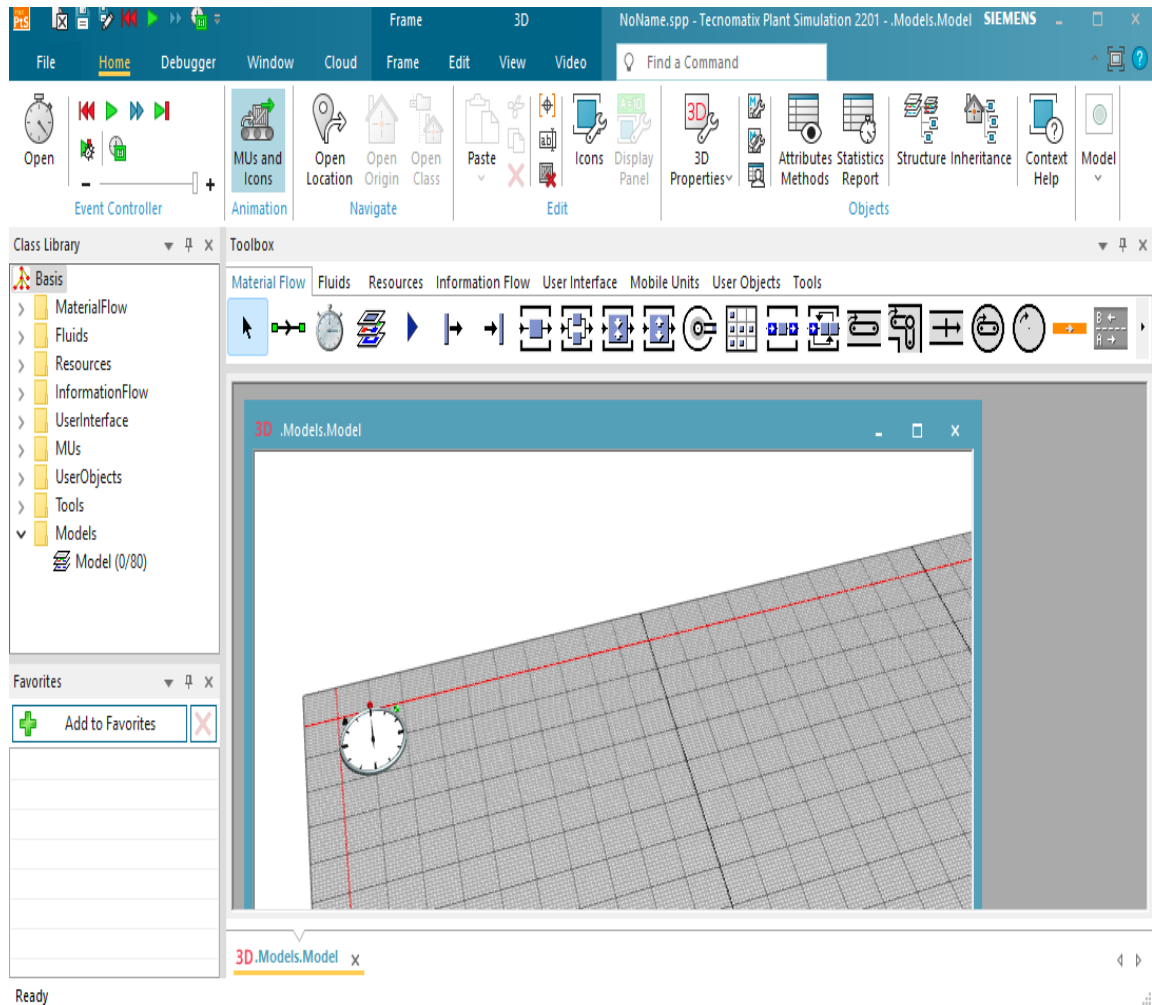
Ao se tratar de simulação computacional e visando o baixo custo, existem muitos *softwares* gratuitos e com versões demo que garantem acesso temporário ao recurso, os principais são o *Tecnomatix Plant Simulation*, o *FlexSim*, o *software Arena Simulatin*, o *AnyLogic*, o *SimCADSimulation* e o *Siml8* (Kormin *et al.*, 2023; Daron, 2022). Neste projeto, utilizou-se o *software Tecnomatix Plant Simulation* para a execução deste projeto, devido à familiaridade dos autores com ele.

O *Tecnomatix Plant Simulation* consiste em programa de modelagem, simulação e otimização de eventos discretos e foi desenvolvido pela *Siemens PLM Software* visando facilitar a análise dos diferentes níveis da cadeia produtiva e permitir comparar soluções de produção complexas. Além disso, possui várias ferramentas para o estudo de otimização de sistema de produção, sendo capaz de realizar a simulação desde uma pequena célula, até mesmo uma fábrica virtual para estudo de sua logística (Borges, 2021; Vieira, 2016; Malega *et al.*, 2022).

O *Plant Simulation* permite aos usuários configurar os processos de produção dentro de seus modelos, definindo tempos de ciclo, tempos de setup, capacidades de produção, regras de roteamento e outras características específicas de cada etapa do processo e isso permite a representação precisa do fluxo de materiais e a execução das tarefas de produção no modelo. Além disso, os usuários podem definir a lógica de controle e as regras de operação para seus

modelos, ou seja, é possível realizar a definição de condições de parada, prioridades de produção, sequências de trabalho e estratégias de roteamento com base em eventos específicos, como o estado das máquinas ou os níveis de estoque (Neves *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2019). A interface principal do *Software* é mostrada na Figura 4.

**Figura 4** – Interface de Simulação do *Software Plant Simulation*



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

Conforme é possível observar na Figura 4, o *software Plant Simulation* possui diferentes recursos para realização da simulação de processos, como a ferramenta para detecção de gargalos “*Bottleneck Analyse*”, ferramentas para monitoramento do fluxo de materiais “*diagrama de Sankey*”, para a simulação da otimização de processos “*Experiment Manager*” e, além disso, possui a ferramenta de gerenciamento de experimentos, que possibilita a otimização de vários parâmetros dentro do processo produtivo e pode determinar o número correto de transportadores, capacidade correta de um *buffer* e capacidade correta de um sistema de armazenamento (Silva *et al.*; Costa, 2022; Vieira, 2016; Gonzales; Kuwahara, 2021).



No Quadro 5, são mostradas as descrições de algumas das ferramentas da interface do *Plant Simulation* mais utilizadas durante a simulação de processos.

**Quadro 5** – Principais Ferramentas do Software Plant Simulation

<b>Ferramentas</b>	<b>Descrição</b>
Shift Calendar	Responsável pela simulação de diferentes turnos.
Single Proc	Utilizado para simulação de estações de trabalho.
Worker	Representação de operadores
Connector	Estabelece o fluxo de materiais entre dois componestes.
Sourcer	Tem a finalidade de representar as peças que circulam no processo
Drain	Saída das peças no processo
Interface	Define o fluxo do processo
Event Controller	Definição do tempo estimado do processo
ExperimentManager	Gerador de Experimentos

**Fonte:** Adaptado de Vieira (2016); Gonzales; Kuwahara (2021).

Conforme apresentado no Quadro 5, o *software* apresenta muitas ferramentas ideias para realização de processos produtivos, além disso, ele possui versão estudantil, o que o torna ideal não apenas no âmbito profissional, mas também para a área acadêmica, o que por esse motivo e por apresentar uma vasta gama de aplicações foi o *software* escolhido para realizar a simulação do processo em estudo.

Além disso, o *Plant Simulation* suporta a integração com outros sistemas de automação e software de gerenciamento empresarial, e isso permite aos usuários incorporar dados do mundo real em seus modelos, sincronizar o planejamento de produção com os sistemas de controle em tempo real e otimizar todo o processo de ponta a ponta e, devido a isso, vem sendo utilizado em diferentes aplicações voltadas para o âmbito industrial (Oliveira *et al.*, 2020; Ribeiro *et al.*, 2021).

Em Chen (2023), é abordado sobre a aplicação do *software Plant Simulation* para simular a otimização de um processo de desmontagem em que obtiveram como resultados a melhoria na eficiência das estações de montagem e aumento de produtividade. Isso também é utilizado para estudo de capacidade produtiva e redução de turnos de produção, pois através dos seus recursos, é possível ter uma melhor visão dos diferentes cenários de produtividade, e

apresentam melhores resultados em comparação com a tomada de decisões de forma intuitiva baseada na experiência de tentativa e erro (Malega; Changhong *et al.*, 2023).

O *Plant Simulation* também é utilizado em pesquisas da indústria 4.0, como é o caso da implementação de melhorias que envolvam automação de processos, como por exemplo, a emulação e teste da lógica de programação de um sistema de automação proposto para uma estação de trabalho em um ambiente de simulação 3D, sendo possível avaliar os possíveis impactos e verificar o funcionamento antes da implementação no ambiente real (Pekarcikova *et al.*, 2021; Sobrino; Bambura *et al.*, 2023). Pode ser empregado para soluções logísticas, estudos ergonômicos e em situações não convencionais como na segurança de infraestrutura crítica, simular o tráfego de carros e em sistemas de mineração (Fernandes; Ferdoko *et al.*, 2023).

Neste contexto, a utilização *do software Plant Simulation* para otimização de processos vem sendo frequente no estudo de soluções não só para o ambiente industrial, mas também para diferentes aplicações, ou seja, é considerada uma ferramenta eficaz para o estudo de melhorias, otimizações, validação de projetos e automatização.

## 2.7 Sistemas embarcados

Os sistemas embarcados são dispositivos eletrônicos dedicados a realizar tarefas específicas, incorporando *hardware* e *software* em um único sistema (Egea, 2020). Eles são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações, desde dispositivos domésticos inteligentes até sistemas industriais complexos (Jiang; Wang, 2020; Egea, 2020).

Os sistemas embarcados desempenham um papel fundamental na indústria, oferecendo soluções que melhoram a eficiência operacional, aumentam a automação e proporcionam maior controle sobre os processos de produção. Na indústria, eles são utilizados no controle de processos industriais, automatização e otimização de linhas de produção, na manutenção preditiva, no gerenciamento de estoques entre outros (Huang; Huang, 2023; Luo; Dong, 2023).

Desta forma, os sistemas embarcados podem ser encontrados em uma variedade de dispositivos, como smartphones, eletrodomésticos, veículos automotores, sistemas médicos e projetos com aplicação industrial (Silva *et al.*, 2023). Eles são projetados para atender requisitos específicos de desempenho, consumo de energia, tamanho e custo e geralmente, consistem em um microcontrolador ou microprocessador, memória, periféricos de entrada e saída (*E/S*), e interfaces de comunicação (Fonseca *et al.*, 2023; Almeida *et al.*, 2023). Um dos dispositivos

mais populares para desenvolvimento de sistemas embarcados é a plataforma Arduino (Martins, 2023).

O *Arduino* é uma plataforma de *hardware* de código aberto baseada em microcontroladores de baixo custo e fácil programação. Consiste em uma placa de circuito impresso com um microcontrolador e uma interface de programação, juntamente com uma linguagem de programação simplificada e um ambiente de desenvolvimento integrado (*IDE*), em que uma das vantagens do *Arduino* é sua acessibilidade, tanto em termos de custo quanto de facilidade de uso (Martinez; Alcarria, 2021; Caraballo; Matinez, 2022).

Apesar de o *Arduino* ser comumente utilizado no ambiente acadêmico, ele também é bastante utilizado em sistemas industriais, devido à baixa complexidade de utilização deste microcontrolador e ao baixo custo, além disso, o *Arduino* suporta uma ampla variedade de sensores, atuadores e módulos de comunicação, permitindo aos desenvolvedores criar uma variedade de aplicações conforme as necessidades do sistema ao qual se deseja melhorar (Ferreira; Petry, 2023; Kumar; Kaur, 2023).

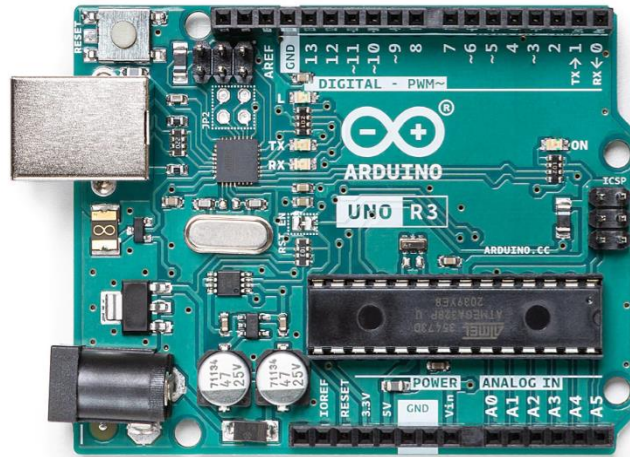
No ambiente industrial, o *Arduíno* vem sendo frequentemente utilizado como uma plataforma para integrar sensores a sistemas de rede industrial, como *Modbus*, *Profibus* e sistemas de gestão da produção o *mês*, além disso, vem sendo utilizado para otimização da gestão da qualidade mediante sistemas de inspeção de defeitos, por exemplo, e para otimizar processos e melhorar a eficiência dos mesmos e é comumente utilizado em sistemas de monitoramentos de ativos e manutenção de equipamentos (Chen *et al.*, 2020; Khan, 2019; Jones, 2024).

No mercado, existem diferentes tipos de microcontroladores *Arduíno*, um deles é o *Arduíno Nano*, é o mais compacto e apresenta uma menor quantidade de entradas analógicas e digitais, o *Arduíno Uno* é mais popular e é amplamente utilizado em diferentes tipos de projeto, outro modelo bem conhecido é o *Arduíno Mega* que é semelhante ao *Arduíno Uno*, porém possui mais portas de entrada digitais e analógicas (Kumar; Kaur; Ribeiro *et al.*, 2023). Apesar dos diferentes tipos, o modelo utilizado neste trabalho foi o *Arduíno Uno*, mostrado na Figura 5.

O *Arduíno Uno* mostrado na Figura 5, é baseado em um microcontrolador *ATmega328P*, que possui uma velocidade de *clock* de 16 MHz e 32 KB de memória *flash*, além disso, possui 14 pinos digitais de entrada/saída, dos quais 6 podem ser usados como saída *PWM* (modulação por largura de pulso), além de 6 entradas analógicas, possui alimentação de 5V, porém pode ser

alimentado com uma tensão ente 7 e 12 volts, embora possa ser alimentado por meio de uma porta *USB* (Ribeiro *et al.*, 2023; Almeida *et al.*, 2022).

**Figura 5** – Microcontrolador Arduino Uno



**Fonte:** Arduino (2024).

Desta forma, com estas características técnicas, o *Arduino* fornece uma plataforma acessível e flexível para desenvolver soluções baseadas em sistemas embarcados que possibilitam a criação de uma ampla gama de dispositivos inteligentes e conectados, impulsionando a inovação em diversos campos, ou seja, seu uso contínuo impulsiona a inovação e aprimora a competitividade das empresas no mercado global (Almeida *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022).

### **3 PERCURSO METODOLÓGICO**

Neste tópico, foi abordada a classificação deste projeto quanto à natureza da pesquisa, objetivos da pesquisa, abordagem da pesquisa e quanto aos procedimentos. Além disso, foi feita a descrição da metodologia adotada para a coleta, análise de dados e implementação do sistema de controle de *WIP*.

#### **3.1 Natureza da pesquisa**

Este trabalho é de natureza aplicada, uma vez que essa pesquisa está voltada para aplicação de conceitos teóricos da engenharia de produção em uma linha de montagem real, ou seja, o intuito foi analisar os dados da linha de produção e com base nos resultados desta análise foi elaborada uma solução por meio de simulação computacional e implementada fisicamente na linha de montagem.

A pesquisa de natureza aplicada tem como objeto de estudo os problemas presentes dentro das atividades de instituições ou organizações e está empenhada na elaboração de diagnósticos, identificação de problemas e na busca por soluções. Desta forma, este tipo de pesquisa pode ser definido como um conjunto de atividades nas quais os conhecimentos previamente adquiridos são utilizados para coletas, selecionar e processar dados, com intuito de obter ou confirmar resultados, ou seja, o objetivo principal deste tipo de pesquisa é gerar conhecimentos para aplicações práticas voltadas para problemas específicos (Fleury; Werlang, 2017; Prodanov; Freitas, 2013).

#### **3.2 Objetivos da pesquisa**

Em relação aos objetivos desta pesquisa, ela foi classificada como pesquisa exploratória. Os estudos exploratórios são aqueles que buscam descobrir ideias e intuições, com o intuito de obter mais informações sobre o fenômeno pesquisado, porém, nem sempre existe a necessidade de formulação de hipóteses nestes tipos de estudos, ou seja, os estudos exploratórios possibilitam aumentar o conhecimento do pesquisados sobre os fatos, permitindo a formulação de problemas mais precisos e a realização de pesquisas mais estruturadas (Oliveira, 2011; Prodanov; Freitas, 2013).

A pesquisa exploratória é utilizada quando é necessário definir o problema com maior precisão e o seu objetivo é promover critérios e compreensão sobre o fator em estudo (Oliveira, 2011).

### **3.3 Abordagem da pesquisa**

Quanto à abordagem, este trabalho foi classificado como pesquisa quantitativa. Na pesquisa quantitativa, deve-se formular hipóteses e classificar a relação entre as variáveis para garantir a precisão dos resultados, evitando contradições no processo de análise e interpretações, ou seja, este tipo de pesquisa quantifica os dados e generaliza os resultados da amostra para os interessados (Fleury; Werlang, 2017; Oliveira, 2011).

A pesquisa quantitativa considera que tudo pode ser mensurável ou quantificável, o que significa traduzir em números as opiniões e informações para classificação e análise e a mesma pode ser empregada em vários tipos de pesquisas, inclusive nas descritivas, principalmente quando se busca relação de causa-efeito entre os fenômenos e por ter menor complexidade para descrever determinada hipótese ou problema (Prodanov; Freitas, 2013).

### **3.4 Procedimentos da pesquisa**

Quanto aos procedimentos de pesquisa, este trabalho foi classificado como um estudo de caso. Os procedimentos de pesquisa denominados como estudo de caso são caracterizados como estudo profundo de um objeto ou sistema para obtenção de um conhecimento amplo e detalhado do mesmo, nesse contexto, o intuito do estudo de caso é tentar esclarecer uma decisão, ou um conjunto de decisões, seus motivos, implementações e resultados (Yin, 2015).

Um estudo de caso engloba a coleta e análise de informações sobre determinado indivíduo ou sistema, a fim de estudar aspectos variados conforme a temática da pesquisa (Prodanov; Freitas, 2013).

### **3.5 Detalhamento do processo de montagem**

O processo de manufatura em estudo, consiste em uma linha montagem final de uma fábrica de grande porte de rádios automotivos localizada no distrito industrial de Manaus que

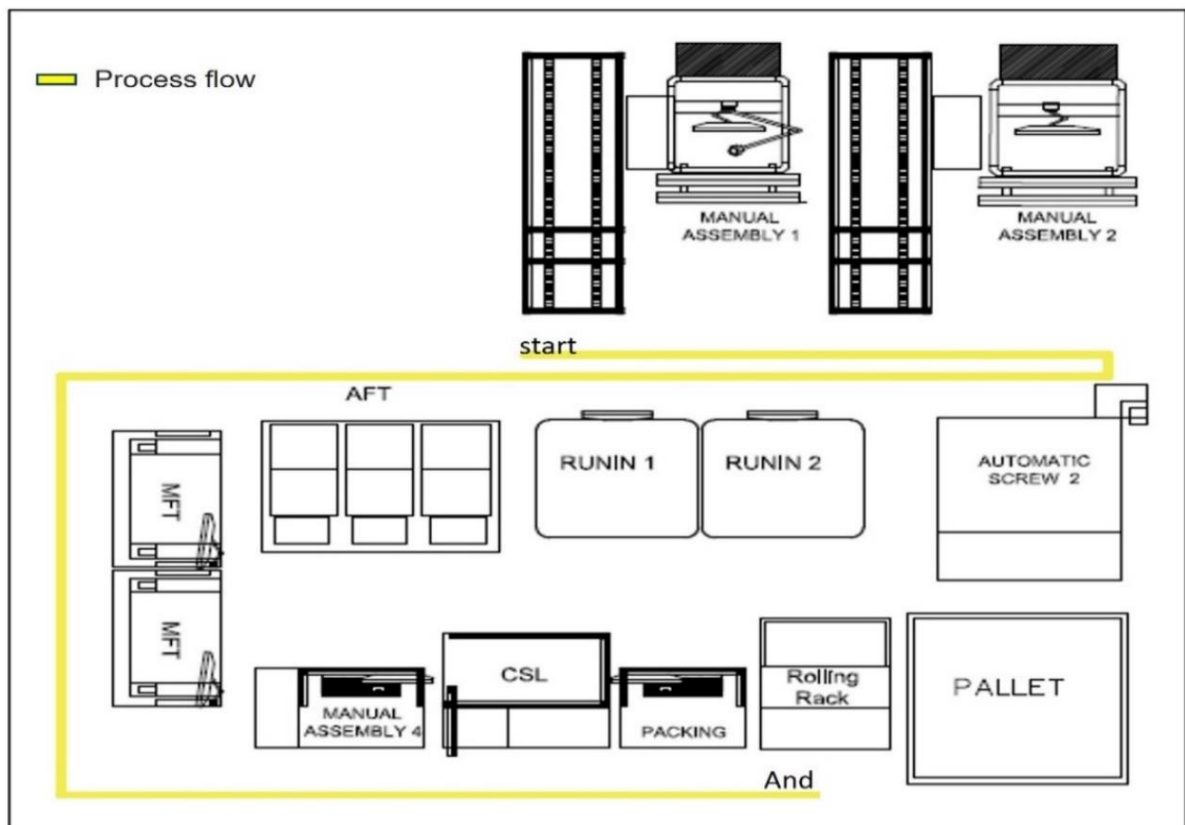
possui um sistema de produção puxada, demanda variável e é caracterizado como um processo de montagem semiautomático.

Na realização da simulação do processo, foi primeiramente feito o detalhamento das características da linha, quantidade de postos e máquinas, com isso, tem-se o *layout* da linha mostrado na Figura 6, em que as atividades são distribuídas em 9 etapas e atuam 7 operadores, e a produção é em um turno comercial de 8,4 horas por dia.

Para melhor compreensão deste processo, foi feito o fluxograma para visualização de cada etapa da linha de montagem, em que é composta por máquinas de montagem semiautomáticas, máquinas de testes funcionais e algumas das atividades são realizadas manualmente conforme descrito na Figura 7.

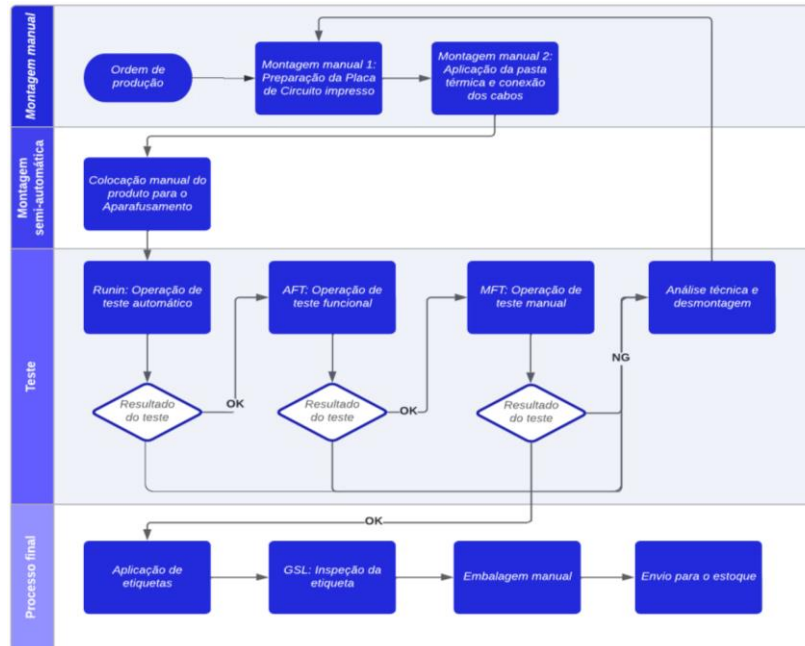
Na Figura 7, a primeira e a segunda estação são responsáveis pelas operações manuais de preparação da Placa de Circuito Impresso (PCB), aplicação da pasta térmica e conexões de fiação, respectivamente. Em seguida, o processo possui uma estação de aparafusamento automática, estações de teste funcionais do produto como *Runin*, o *Automatic Funcional Test* (AFT), *Manual Funcional Test* (MFT) e fechamento da tampa do chassi, aplicação manual de etiquetas, inspeção automática (GSL) e por fim, a embalagem manual.

**Figura 6** – Layout do processo de montagem de rádios automotivos



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

**Figura 7** – Fluxograma da linha de montagem automotiva



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

### 3.6 Aquisição e análise de dados do processo

A coleta de dados do processo foi feita utilizando um cronômetro para obter o tempo de ciclo de cada estação de montagem, onde foram consideradas 10 tomadas de tempo para cada posto, e na obtenção dos tempos de ciclo considerou-se a média dos tempos cronometrados e o fator de ritmo operacional. A cronoanálise deste processo, foi feita em dois horários diferentes, onde foram feitas 5 tomadas de tempo no período da manhã e as outras 5 no período da tarde, ou seja, a coleta de dados foi realizada durante um turno de trabalho.

Com a obtenção destes dados, foi feito o cálculo de tamanho da amostra para verificar se a quantidade de amostras obtidas tinha confiabilidade de 95%, em que a princípio foram realizadas 10 amostras, com isto utilizou-se a Equação 1 abordada em Martins e Laugeni (2015).

$$N = \left( \frac{Z * R}{E_r * d_2 * m} \right)^2 \quad (1)$$

Onde:

N: Número de ciclos a ser cronometrado;

Z: Coeficiente de distribuição normal;

R: Amplitude da amostra;

$E_r$ : Erro relativo da medida;



$d_2$ : Coeficiente em função do número de cronometragens realizadas preliminarmente;  
 $m$ : É a média das amostras.

Os dados coletados estão no Quadro 6 e os resultados obtidos através da Equação 1, são mostrados no Quadro 7.

**Quadro 6 – Tomada de tempos em segundos das estações de trabalho**

Operação	Tomada de Tempo (sec)										Média
	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8	t9	T10	
OP 1	66,9	67,78	72,89	71,99	72,98	68,69	67,78	66,45	66,9	67,06	69
OP 2	65,07	67	75,02	66,08	69,7	69,2	68,92	66,79	66,45	67,07	68
OP 3	90,69	90,6	95,02	91,98	90,78	90,79	89,97	90,86	90,76	89,67	91
OP 4	31,92	30,82	33,94	30,69	31,05	30,98	30,59	30,68	30,55	29,12	31
OP 5	450,23	399	460,05	370,9	380,06	379	430,04	370,05	370	360,9	397
OP 6	287	289,002	287,09	279,01	298,03	294,5	287,01	288,4	283,94	278	287
OP 7	74,51	75,65	85,01	75,01	75,69	75,73	75	75,02	75,07	63,987	75
OP 8	73,45	73,98	73,05	72,97	74,78	73,58	73,46	73,89	73	67,8	73
OP 9	91,2	91,07	91,07	91,01	92,95	90,87	90,93	90,09	92,62	89,98	91
<b>Tempo Total</b>	1149,14	1185,98	<b>1273,14</b>	1172,62	1214,39	1153,39	1150,1	1231,02	1183,572	<b>1113,587</b>	1182

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Com dados do Quadro 6, foi possível realizar o cálculo de erro e nível de confiança apresentado no Quadro 7, onde o menor valor consistiu na tomada de tempo t10 e o maior valor na tomada de tempo t3 conforme destacado em negrito no Quadro 6 .

**Quadro 7 – Metodologia para cálculo de erro e nível de confiança**

Média em segundos (m)	Menor Valor (sec)	Maior Valor (sec)	Amplitude(R)	Erro (Er)	Z *R	Er*d2*m	N
1182	1113,587	1273,14	159,553	0,134986	312,7239	491,1041	0,4054

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Conforme mostrado no Quadro 7, o resultado do cálculo de tamanho de amostra foi igual 0,405, ou seja, seria necessário apenas uma amostra, confirmando assim, a confiabilidade da quantidade de amostras coletadas das estações de trabalho do processo.

Estes cálculos foram feitos no *Software Microsoft Office Excel*, onde foram feitos também os cálculos de capacidade do posto e geração de gráfico para visualização do posto gargalo da linha. Ademais, através da cronoanálise, foi possível a obtenção dos tempos de ciclo de cada posto de trabalho e capacidade produtiva da linha montagem.

Após o processo de cronoanálise, foi feito o mapeamento do processo em que verificou-se que alguns postos as perdas por ociosidade tinham um tempo elevado, porém através desse método obteve-se apenas o tempo de ciclo total de cada operação, com isso, para o detalhamento das perdas do processo utilizou-se a ferramenta *Yamazumi*.

Na obtenção dos dados utilizou-se uma câmera, por meio da qual foram feitos os vídeos de cada estação de trabalho e em cada vídeo foram considerados 5 ciclos de montagem. Após a obtenção e análise dos vídeos, obteve-se o detalhamento dos tempos de todas as atividades realizadas em cada estações de trabalho, e em seguida, cada operação foi classificada como atividade que agrega valor (*VA*), atividade que não agrega valor (*NVA*), atividade que não agrega valor, mas é necessário ser realizada (*BVA*).

Com o detalhamento das atividades de cada estação, verificou-se que em alguns postos operacionais tinham um número maior de *NVA*, com isso, foi feita uma análise destas atividades *NVA*, e verificou-se que a grande parte das atividades *NVAs* eram relacionadas ao tempo de espera ou tempo ocioso de algumas máquinas, incluído da máquina gargalo, desta forma, para melhor visualização dos dados classificou-se o tempo ocioso como “*NVA Idle*”.

Através desta análise, verificou-se a necessidade de diminuir o tempo de espera entre as estações de trabalho antes e depois do gargalo, o que requer neste caso, a utilização de *WIPs* para reduzir o tempo de espera das estações de trabalho. Porém, o tamanho dos *WIPs* teve que ser dimensionado para evitar a superprodução e respeitando o princípio *JIT*, desta forma, para realizar o correto dimensionamento foi utilizado um *software* de simulação de processos, conforme descrito no tópico seguinte.

### **3.7 Simulação computacional**

Após a obtenção de dados do processo produtivo, foi possível realizar a simulação da linha de montagem por meio do *Software Tecnomatix Plant Simulation 2021*, considerando os tempos reais de cada posto de trabalho e as horas e intervalos de trabalho do processo produtivo.

A jornada de trabalho foi calculada através da ferramenta " *Shift Calendar*", que considerou um turno de segunda a sexta-feira, das 07h00 às 17h10, com dois intervalos de 15 minutos e uma hora de intervalo para o almoço.













Após a inclusão dos dados reais do processo de fabricação, os *WIPs* entre as estações de trabalho foram introduzidos no ambiente de simulação visando determinar o tamanho ideal

para inibir a superprodução e não ter um impacto no rendimento da linha de montagem, uma vez que a necessidade de utilizá-los foi identificada durante a análise de *Yamazumi*.

A ferramenta "*Experiment Manager*" foi usada para determinar o número de *WIPs*. A ferramenta "*root.Drain.StatNumOut*" foi utilizada para configurar as variáveis de saída que consiste no número de peças produzidas no final do turno, bem como as variáveis de entrada "*root.Buffer1.Capacity*", "*root.Buffer2.Capacity*" e "*root.Buffer3.Capacity*". Estas variáveis dizem respeito à capacidade de armazenamento de cada *WIP* que foram posicionados entre as estações que apresentaram um maior tempo de ociosidade.

De forma mais abrangente, é mostrado no Quadro 8, os componentes utilizados para a modelagem da linha no *Plant Simulation*, em que a descrição dos componentes do *software* foi previamente descrita na seção 2.7 deste trabalho.

**Quadro 8** – Componentes utilizados do Toolbox do Plant Simulation

<b>Categoria</b>	<b>Componentes</b>		<b>Quantidade</b>
Fluxo de Material		<i>Connector</i>	14
		<i>Drain</i>	1
		<i>Source</i>	2
		<i>EventController</i>	1
		<i>Assembly</i>	3
		<i>Machine</i>	6
		<i>Buffer</i>	3
Recursos de Objetos		<i>ShiftCalendar</i>	1
		<i>ExperimentManager</i>	1
		<i>WorkerPool</i>	1
		<i>Brocker</i>	1
		<i>Attributer</i>	1

**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

### 3.8 Desenvolvimento do sistema de controle de *WIP*

Para implementar os *WIPs* no processo produtivo, foi necessário limitar o número de produtos no *buffer*. Dessa forma, foi desenvolvido um dispositivo mecânico para armazenar os produtos em processo entre as estações de trabalho com o espaço suficiente para alocar apenas a quantidade de rádios determinada por meio da simulação computacional. Para a construção dos dispositivos mecânicos, foram utilizados perfis de alumínio e chapa metálica disponíveis no setor de manutenção da fábrica.

Após a confecção do dispositivo mecânico para limitar o tamanho das *WIPs* do processo, foi desenvolvido um sistema automático para controlar a sequência *FIFO* dentro destes *WIPs*. Para confecção deste sistema, foi utilizado um microcontrolador *Arduino Uno*, sensores indutivos para detectar a presença do produto em *WIP*, atuadores pneumáticos para controlar a sequência que as peças são retiradas para a próxima estação de montagem e entre outros componentes eletrônicos e pneumáticos.

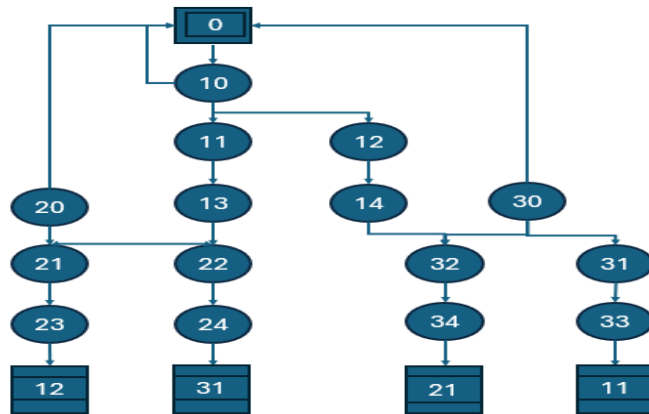
Ao definir os materiais necessários para o desenvolvimento do sistema, foi desenvolvida uma *PCB* para acoplar o *Arduíno Uno* e os componentes eletrônicos do circuito elétrico. Além disso, foi feito o desenvolvimento do circuito pneumático para controle dos atuadores de forma com que os operadores só retirem os rádios em uma sequência *FIFO*. Após isto, foi feito o encapsulamento do circuito elétrico, que juntamente com o sistema pneumático, foram acoplados nos dispositivos mecânicos desenvolvidos. A linguagem de programação utilizada para controle do sistema foi a linguagem C, a lógica implementada no sistema pode ser mostrada na Figura 8.

Na Figura 8, é mostrada a lógica utilizada em um *WIP* de capacidade máxima de três peças, onde é considerado que inicialmente a peça pode ser alocada pelo operador em qualquer posição, porque após ocorrer o posicionamento da primeira peça, é definido qual posição está a primeira peça e o atuador nessa posição não irá acionar. Isso se dá, porque a primeira peça não pode ser travada e deve estar disponível para retirada, devido à sequência *FIFO* em que a primeira peça que entra deve ser a primeira peça a sair. A descrição de cada estado apresentado na Figura 8 é mostrada no Quadro 9.

No Quadro 9 é descrito cada uma das possíveis situações que podem ocorrer dentro ao utilizar o *WIP* com capacidade máxima de três rádios, onde os itens destacados de verde indicam quando os sensores e atuadores vão estar acionados e os de vermelho indicam que não

vão estar acionados, também está indicado no quadro a sequência com que eles são acionados conforme a posição que o rádio for alocado pelo operador.

**Figura 8** – Gráfico de Fluxo de sinais do sistema



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

**Quadro 9** – Descrição de cada estado considerado no sistema

Estado	Estado dos Sensores Indutivos			Estado dos Atuadores Pneumáticos		
	S1	S2	S3	A1	A2	A3
0						
10	1°					
11	1°	2°			2°	
12	1°		2°			2°
13	1°	2°	3°		2°	3°
14	1°	3°	2°		3°	2°
20		1°				
21		1°	2°			2°
22	2°	1°		2°		
23	2°	1°	3°	2°		3°
24	3°	1°	2°	3°		2°
30			1°			
31		2°	1°		2°	
32	2°		1°	2°		
33	3°	2°	1°	3°	2°	
34	2°	3°	1°	2°	3°	

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Desta forma, o sistema foi desenvolvido para que ao posicionar os rádios os sensores indutivos detectem a presença dos mesmo e a ordem com que foram colocados, caso o sensor acionado não seja o primeiro da fila, o atuador pneumático equivalente irá acionar e travar a peça no dispositivo mecânico até que o primeiro da fila seja retirado, assim que seja retirado, o

cilindro da segunda peça que foi colocada no *WIP* será desativo e estará disponível para ser retirado e assim consecutivamente.

### 3.9 Análise dos resultados

Para a validação dos dados obtidos por meio da simulação computacional, antes da implementação do sistema de *WIPs* fisicamente, foi feita uma simulação durante a produção na linha, para validar o impacto na capacidade produção. A simulação foi feita por um turno de trabalho e verificou-se que teve um impacto positivo com a utilização de *WIPs* conforme obtido durante a simulação computacional.

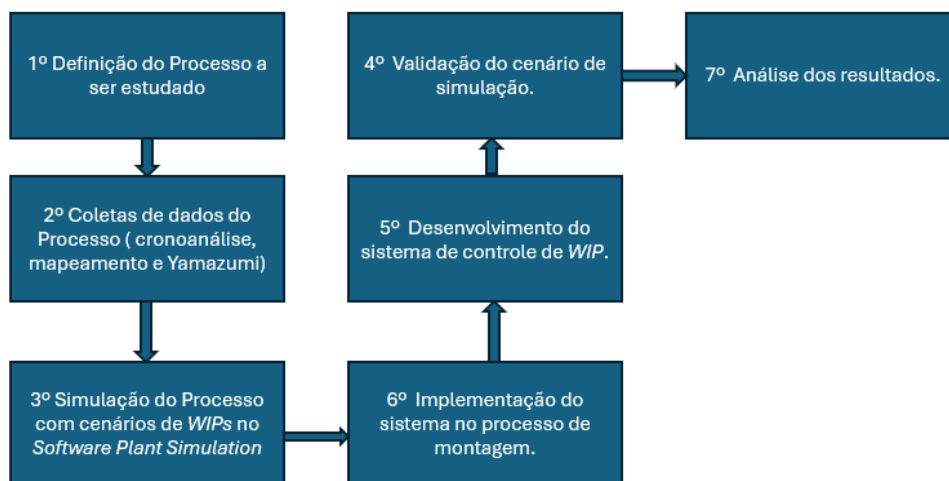
Com a validação da simulação feita no *software Plant Simulation*, foi feita a elaboração do sistema de controle *WIP* e em seguida ocorreu a implementação deste sistema entre as estações de trabalho da linha de montagem em estudo conforme a simulação computacional.

Para consolidação e análise dos resultados obtidos na linha de montagem, foi feita novamente a análise de *Yamazumi* de todo o processo de montagem, para verificar os impactos da implementação do sistema de *WIP* relacionados a redução de perdas do processo e capacidade produtiva.

### 3.10 Operacionalização da pesquisa

De modo geral, o processo metodológico para alcançar os objetivos estabelecidos nesse trabalho é descrito na Figura 9.

**Figura 9**– Descrição do Processo Metodológico do Projeto



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

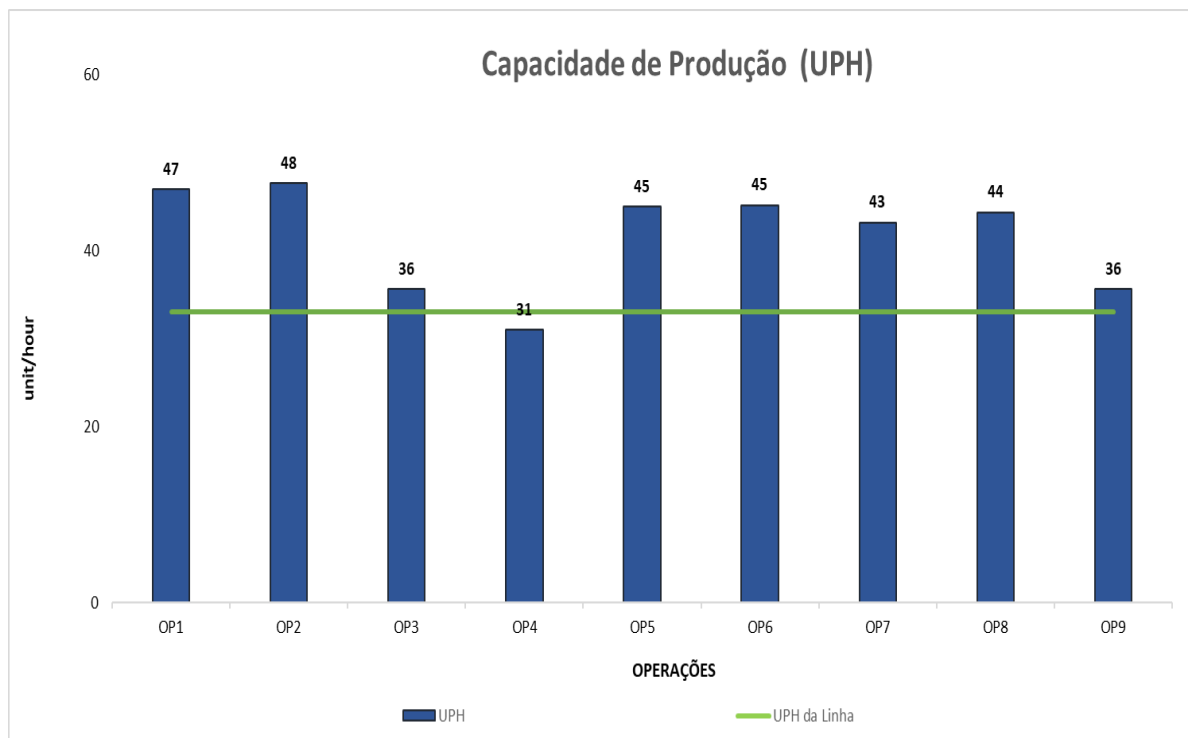
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico são abordados os resultados obtidos durante o desenvolvimento do projeto, que envolve desde os dados obtidos durante o estudo do processo de montagem, simulação computacional do processo, desenvolvimento do sistema de controle de *WIP* e os resultados obtidos com a implementação dele.

### 4.1 Coleta de dados do processo de montagem de rádios automotivos

Na Figura 10, é mostrado o gráfico da capacidade produtiva de cada posto de trabalho, que foi calculada a partir dos tempos de ciclos obtidos por meio da cronoanálise. Com o cálculo da capacidade produtiva de cada posto, definiu-se a capacidade da linha (*UPH*) antes da implementação dos *WIPs*, como 31 peças/hora, ou seja, a capacidade da linha foi determinada pelo tempo de ciclo do gargalo.

**Figura 10**– Gráfico de capacidade produtiva das estações de montagem



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

Na etapa de coleta de dados por meio da cronoanálise de cada estação de trabalho, considerou-se o número de *slots* de cada máquina e a quantidade de máquinas utilizadas em cada estação, pois dependendo da quantidade de *slots* e de máquinas, influência na capacidade

produtiva da estação de montagem. Desta forma, os dados obtidos e considerados na determinação da capacidade produtiva da linha são apresentados na Quadro 10.

**Quadro 10**– Gráfico de capacidade produtiva por estação de montagem

Operação	Descrição	Equipamentos (Unidade)	Mão de Obra (unidade)	Tempo de Ciclo (sec)	UPH
OP 1	Montagem Manual 1	1	1	69	47
OP 2	Montagem Manual 2	1	1	68	48
OP 3	Montagem Semi-Automática	1	1	91	36
OP 4	Runin	20	0,5	2116	31
OP 5	AFT	6	0,5	434	45
OP 6	MFT e montagem manual	4	2	287	45
OP 7	Aplicação de Etiquetas	0	0,33	75	43
OP 8	GSL	1	0,33	73	44
OP 9	Embalagem Manual	0	0,33	91	36

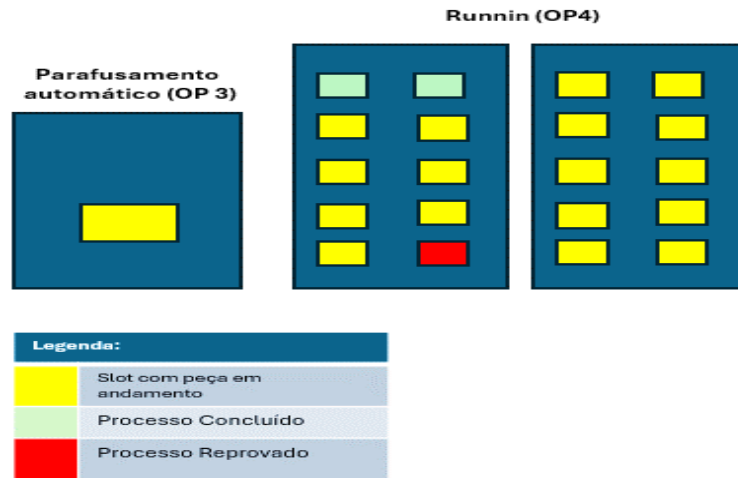
**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

Através da cronoanálise, verificou-se que a máquina da estação anterior a estação gargalo (OP4) ficava muito tempo ociosa esperando que um dos *slots* finalize a atividade de teste automático, o que ocasiona um aumento no tempo de ciclo da estação e do gargalo da linha.

Isto ocorre porque quando a estação OP4 finaliza sua atividade, em algumas situações, ocorre de liberar mais de um rádio simultaneamente para a próxima estação de montagem, e os *slots* vazios da estação de trabalho OP4 aguardam a chegada das próximas peças conforme exemplificado na Figura 11, o que significa que o tempo de ciclo desta estação torna-se maior do que deveria, ou seja, o tempo disponível do gargalo não é totalmente aproveitado. Com isso, verificou-se que seria interessante a inclusão de *WIPs* entre as estações para sempre terem peças disponíveis para a estação gargalo.



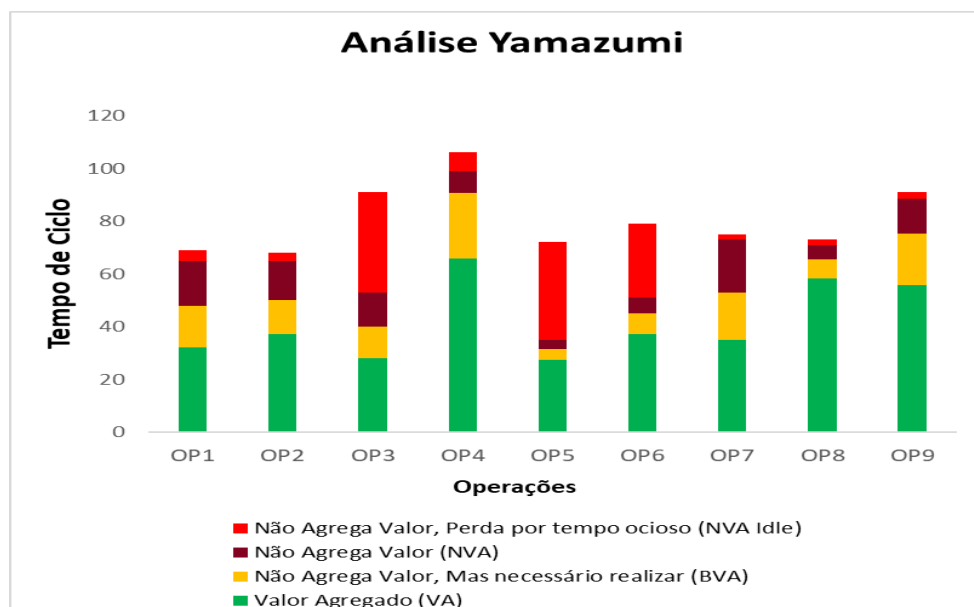
**Figura 11**– Detalhamento da necessidade de utilização de WIPs



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

Devido a isto, foi realizada a análise *Yamazumi* conforme mostrada na Figura 12, para verificar o tempo ocioso dos postos de trabalho visando detalhar as atividades que agregam e não agregam valor, com o intuito de reduzir as atividades *NVAs*, aumentando desta forma a capacidade produtiva da linha de montagem.

**Figura 12**– Análise *Yamazumi* das estações de montagem



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

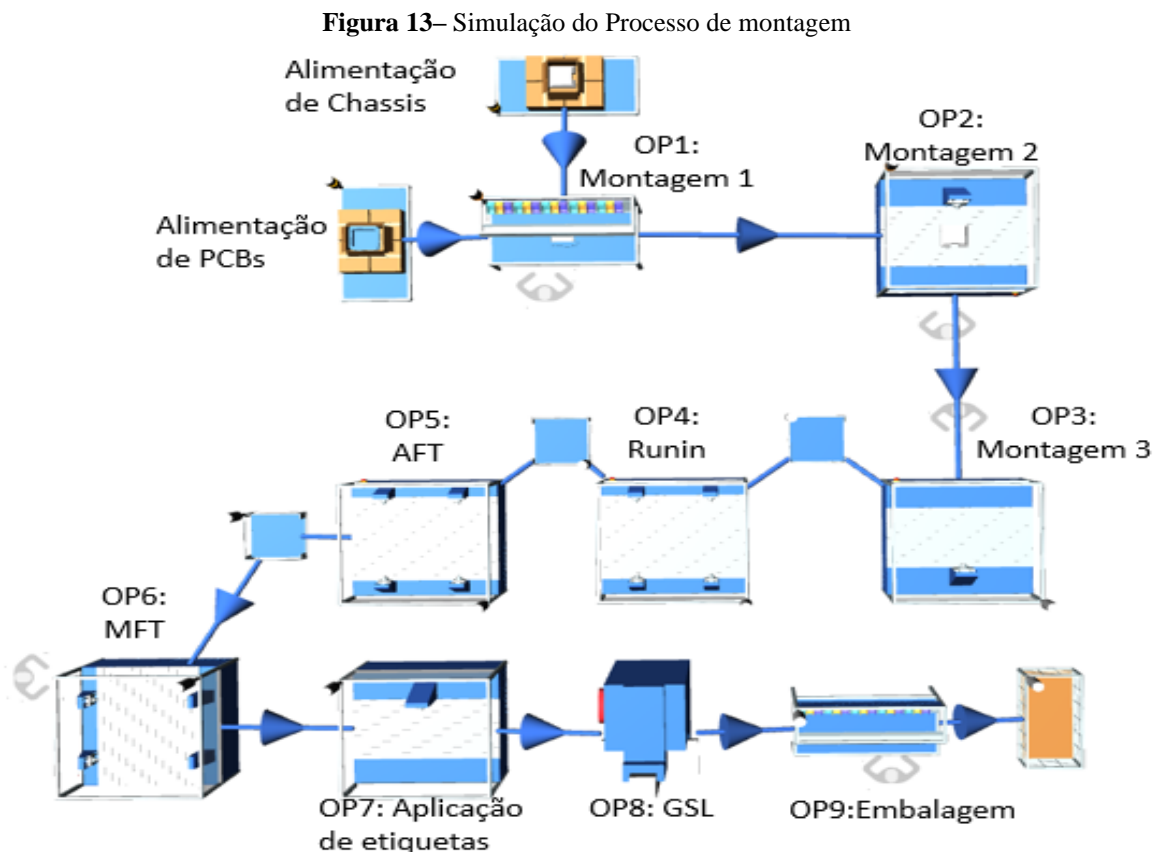
Com a análise apresentada na Figura 12, foi possível confirmar o elevado valor de tempo ocioso nas estações de trabalho (*NVA Idle*), confirmando a hipótese da necessidade de implementação de *WIPs* para que seja possível utilizar o máximo possível o tempo do gargalo,

já que caso ocorra algum problema ou falha durante o teste do produto, haverá peças em *WIP* para substituir rapidamente a anterior, evitando a ociosidade nos *slots* da máquina gargalo.

## 4.2 Simulação computacional do processo

Para realizar a simulação computacional do processo, o *layout* real da produção da linha foi levado em consideração, bem como os dados obtidos sobre os tempos de ciclo de cada estação de trabalho e o tempo disponível de trabalho. A unidade de tempo considerada no simulador foi de segundos, bem como todos os tempos de ciclo obtidos no processo de cronoanálise.

Como cenário de simulação no ambiente do *software Plant Simulation*, considerou-se a utilização de *WIPs* entre as estações com maiores tempos de espera (*NVA Idle*) verificados com a análise de dados do processo. Desta forma, os *WIPs* foram colocados nas seguintes estações: entre a estação de aparafusamento automático e teste funcional (*Runin*), entre teste funcional (*Runin*) e a *AFT* (Teste Funcional Automático) e entre *AFT* e *MFT* (Teste Funcional Manual), conforme mostrado na Figura 13.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Para determinar o tamanho ideal dos *WIPs* mostrados na Figura 13, utilizou-se a ferramenta “ExperimentManager” para obter o resultado de diferentes saídas conforme os tamanhos de *WIP* simulados, conforme mostrado na Figura 14.

**Figura 14**– Relatório gerado pela ferramenta “ExperimentManager”

Experiment	root.Buffer1.Capacity	root.Buffer2.Capacity	root.Buffer3.Capacity	root.Drain.StatNumOut
Exp 001	1	1	1	311
Exp 002	1	1	2	311
Exp 003	1	1	3	311
Exp 004	1	1	4	311
Exp 005	1	1	5	311
Exp 006	1	1	6	311
Exp 007	1	2	1	311
.				
.				
Exp 194	6	3	2	322
Exp 195	6	3	3	323
Exp 196	6	3	4	323
Exp 197	6	3	5	323
Exp 198	6	3	6	323
.				
.				
Exp 213	6	6	3	323
Exp 214	6	6	4	323
Exp 215	6	6	5	323
Exp 216	6	6	6	323

**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

O relatório gerado pelo “ExperimentManager” na Figura 14, mostra os resultados da simulação considerando como variáveis de entrada os três *WIPs* pré-determinados no início da simulação descritos como “root. Buffer1.Capacity”, “root.Buffer2.Capacity” e o “root.Buffer3.capacity”. E, como variável de saída, o “root.Drain.StatNumOut”, que está relacionado ao output de peças da linha de montagem.

Nessas condições, considerando a inclusão de três *WIPs* no processo, o simulador gerou 216 resultados em diferentes tamanhos de *WIPs*, ou seja, a ferramenta simulou o processo de montagem considerando os três *WIPs* com diferentes tamanhos e retornou como saída a quantidade de peças que seria possível produzir de acordo cada experimento realizado.

Com isso, após obtermos este relatório, chegou-se à fase de tomada de decisão, onde se considerou dois aspectos importantes: O primeiro foi o princípio *JIT*, que considera que é preciso produzir com o menor nível de estoque possível, e a segunda foi sobre a capacidade da linha de produção.

Com base nestes dois aspectos, a melhor alternativa seria “*Exp 195*”, conforme destacado na Figura 14, pois é o resultado que apresenta maior capacidade diária de produção com o menor tamanho de *WIP* possível. Desta forma, foi definido o tamanho máximo dos *WIPs* como 6 peças/*WIP*, 3 peças/*WIP* e 3 peças/*WIP*, respectivamente, para obter uma produção de 323 peças/dia considerando um turno comercial de trabalho.

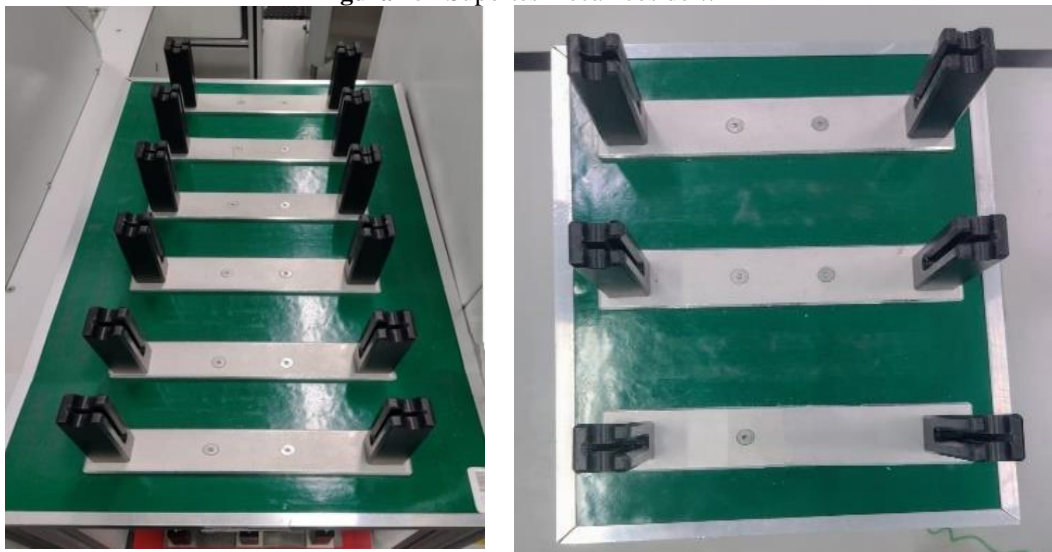
### 4.3 Sistema de controle de *WIPs*

No desenvolvimento do sistema de controle de *WIP* foram feitos os dispositivos mecânicos para o posicionamento dos produtos entre as estações de montagem. No seu desenvolvimento, consideraram-se os seguintes aspectos:

- Deveria ocupar apenas o espaço disponível entre os postos de trabalho para a implementação física, uma vez que o espaço disponível na linha de montagem é limitado.
- Não poderia atrapalhar a atividade do operador, ou seja, as peças deveriam ser fáceis de posicionas e remover.
- Deveria ser limitado para acomodar apenas a quantidade máxima permitida.

A partir destes critérios, desenvolveu-se os suportes para posicionamento de peças em *WIP* conforme mostrado na Figura 15.

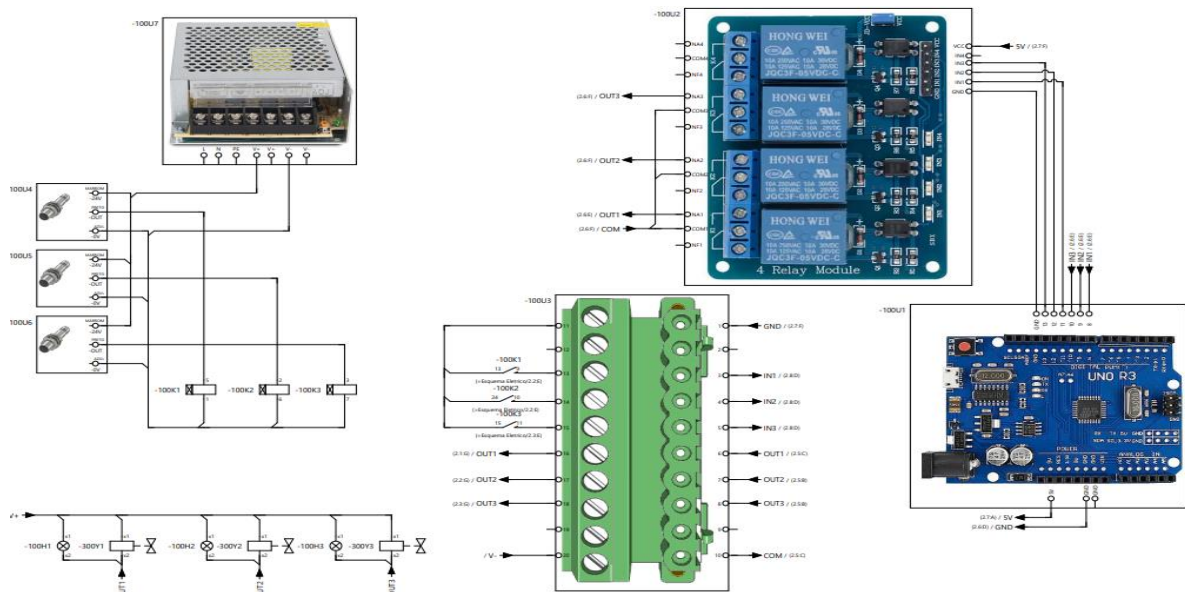
Figura 15– Suportes mecânicos de *WIP*



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

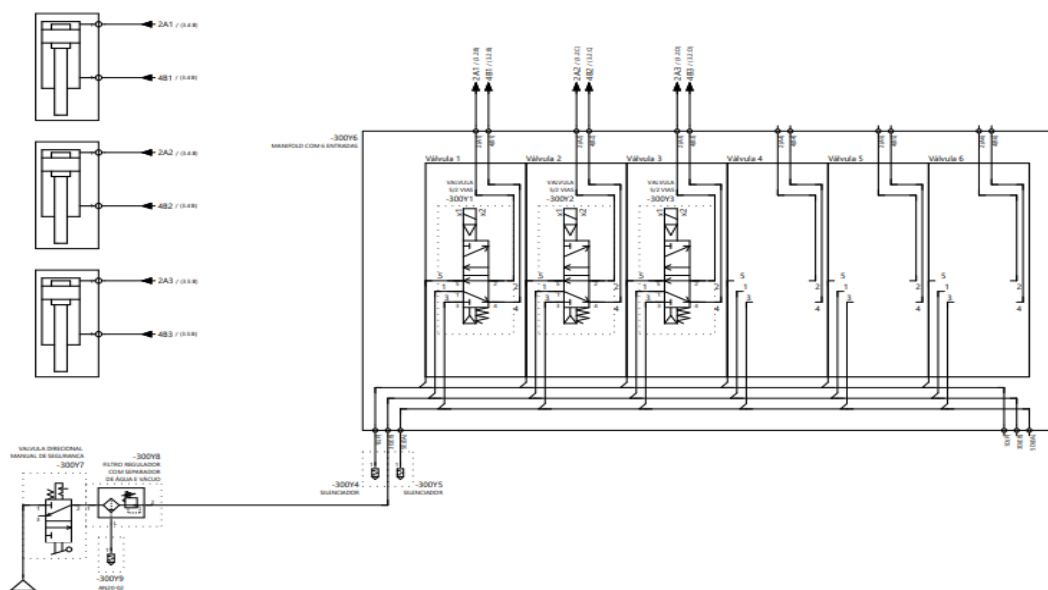
Para integração do controle de *FiFo* no dispositivo mecânico mostrado na Figura 15, foi desenvolvido um circuito elétrico para controlar o acionamento dos sensores e atuadores do sistema, e um circuito pneumático responsável pelos atuadores pneumáticos utilizados. O esquema elétrico que foi desenvolvido é mostrado na Figura 16 e o esquema do circuito pneumático é mostrado na Figura 17. Para melhor visualização dos esquemas consultar os Anexos A e B.

**Figura 16**– Esquema elétrico do circuito desenvolvido para uma *WIP* de 3 peças



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

**Figura 17**– Esquema pneumático do circuito desenvolvido para uma *WIP* de 3 peças



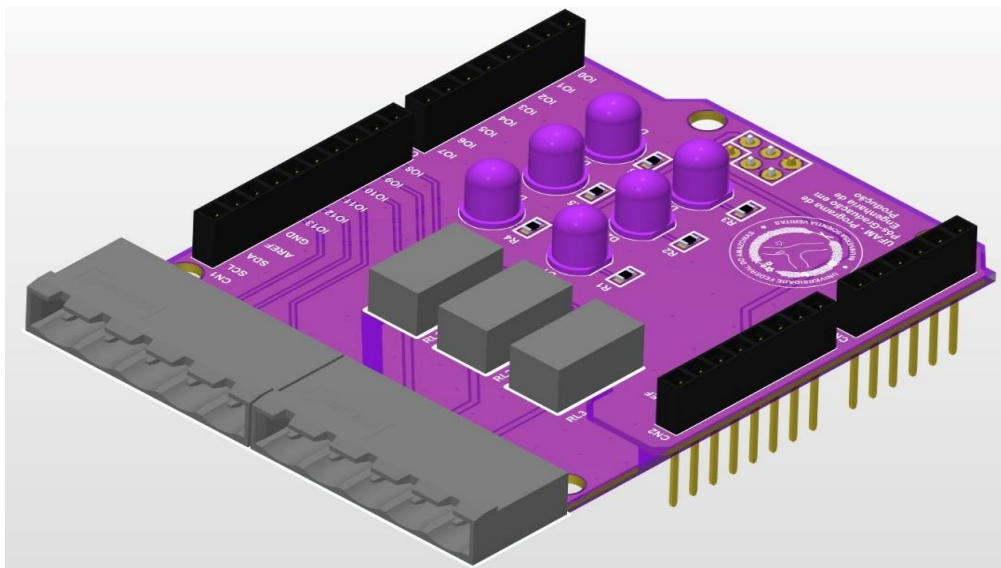
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Na Figura 16, é mostrado no esquema elétrico os componentes utilizados na *PCB* desenvolvida para uma *WIP* com capacidade máxima de três peças, composto por três sensores indutivos para detecção dos produtos, fonte de alimentação, relé para controle de acionamento das entradas e saídas, válvulas elétricas para acionamento dos atuadores pneumáticos e *Arduino uno* programado para execução da lógica *FiFo* do circuito.

E na Figura 17 é mostrado o circuito eletropneumático para a correta alimentação de ar-comprimido dos cilindros pneumáticos utilizados, composto por três válvulas pneumáticas responsáveis pelo acionamento dos três cilindros utilizados, uma válvula de segurança e um filtro silenciador.

Para integração do circuito elétrico e do circuito pneumático apresentado na Figura 16 e Figura 17, foi desenvolvida a *PCB*, conforme mostra a Figura 18.

**Figura 18**– Placa de circuito impresso desenvolvida



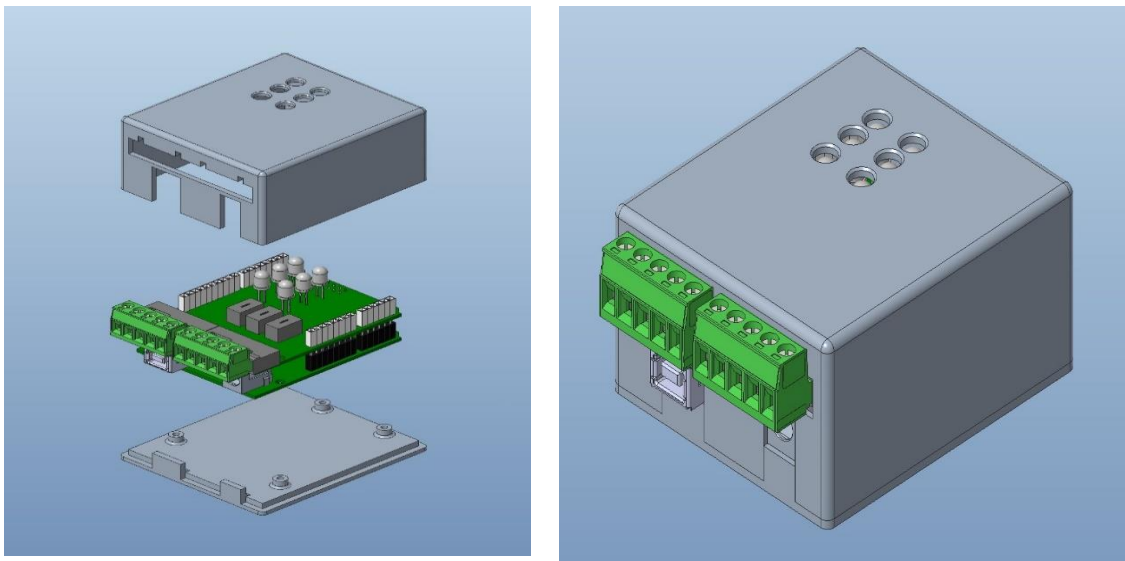
**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

A *PCB* mostrada na Figura 18 foi desenvolvida de forma que os sensores e atuadores possam ser conectados a um borne da placa, buscando facilitar sua integração ao dispositivo mecânico para posicionamento dos produtos. E para proteção do circuito, foi feito o encapsulamento demonstrado na Figura 19.

Com o desenvolvimento da *PCB* e do encapsulamento do circuito, foi feita a integração deste sistema aos suportes mecânicos para a realização do controle de *FiFo* conforme mostrado na Figura 20.

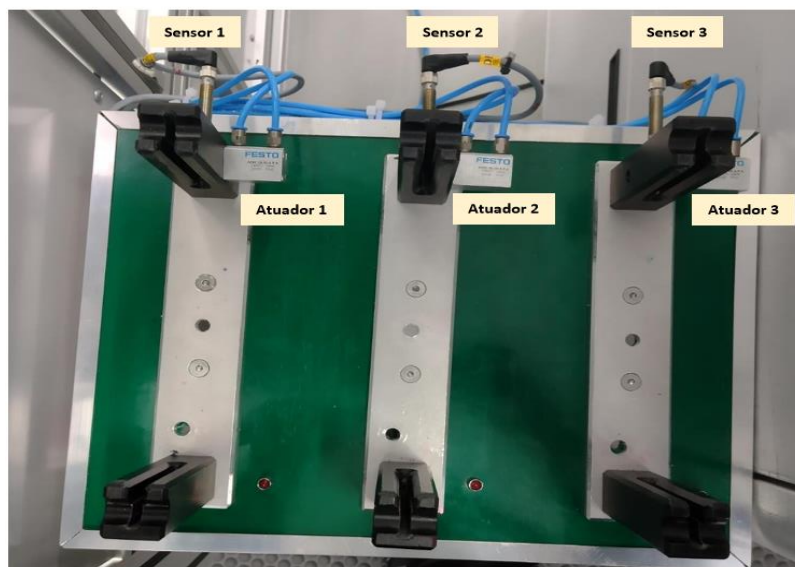
Conforme mostrado na Figura 20, com a integração do circuito desenvolvido e do dispositivo mecânico, obteve-se um sistema para controle da quantidade de peças em *WIP* e com controle de *FiFo* automático, em que através dos sensores indutivos é possível detectar a presença dos rádios no dispositivo, e dependendo da ordem com que os rádios foram posicionados, os cilindros travam a peça forçando o operador a retirar a primeira peça que foi colocada no dispositivo, ou seja, a primeira peça armazenada em *WIP* deve ser a primeira peça a ser retirada.

**Figura 19**– Encapsulamento do circuito



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

**Figura 20**– Sistema de controle de *wip* com controle de *fifo*

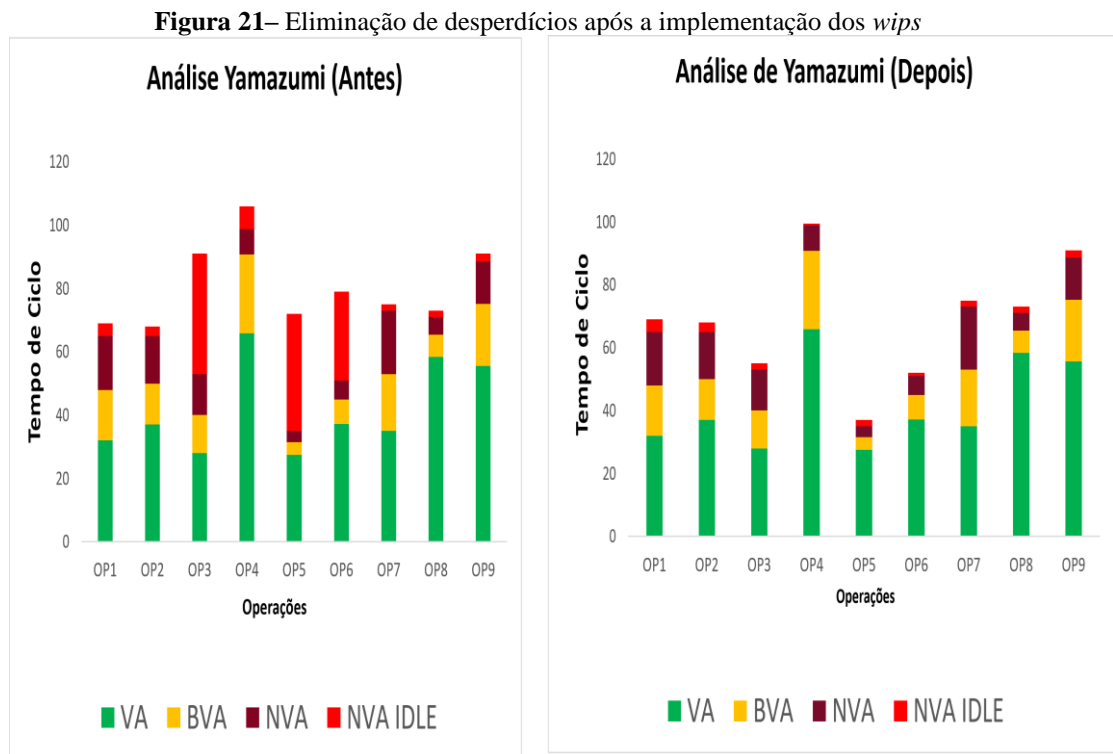


**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

#### 4.4 Implantação do sistema na linha de montagem

Os dispositivos mecânicos de *WIP* desenvolvidos foram implementados na linha de montagem em janeiro de 2024, no entanto, quanto ao sistema de controle *FiFo* por solicitação da gestão da empresa, foi implementado em apenas um *WIP* de capacidade máxima de três peças para realização da validação do sistema, quanto ao seu funcionamento e impacto no processo de montagem.

A implementação dos dispositivos de controle de quantidade de peças em *WIP* foi satisfatória, pois foi possível aumentar a capacidade produtiva da linha ao eliminar os tempos de ociosidade do gargalo e de outras máquinas do processo. Na Figura 21, é mostrado os resultados obtidos em relação aos *NVAs* do processo.



Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Como pode ser visto na Figura 21 e no Quadro 11 e Quadro 12, com a inclusão dos *WIPs*, foi possível reduzir 85% a ociosidade (*NVA Idle*) das estações de trabalho, considerando que antes da implementação o tempo total de ociosidade era de 123,6 segundos e passou a ser de 19 segundos.



**Quadro 11**– Yamazumi antes de implementar o sistema de WIP.

<b>Antes da Utilização do Buffer</b>					
<b>Operation</b>	<b>VA</b>	<b>BVA</b>	<b>NVA</b>	<b>NVA IDLE</b>	<b>Total</b>
OP1	32	16	17	4	69
OP2	37	13	15	3	68
OP3	28	12	13	38	91
OP4	65,8	25	8	7,2	106
OP5	27,5	4	3,5	37	72
OP6	37,2	7,7	6,1	28	79
OP7	35	18	20	2	75
OP8	58,4	7	5,6	2	73
OP9	55,6	19,6	13,4	2,4	91
<b>TOTAL IDLE</b>				<b>123,6</b>	

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

**Quadro 12**– Yamazumi depois de implementar o sistema de WIP.

<b>Depois da Utilização do Buffer</b>					
<b>Operation</b>	<b>VA</b>	<b>BVA</b>	<b>NVA</b>	<b>NVA IDLE</b>	<b>Total</b>
OP1	32	16	17	4	69
OP2	37	13	15	3	68
OP3	28	12	13	2	55
OP4	65,8	25	8	0,6	99
OP5	27,5	4	3,5	2	37
OP6	37,2	7,7	6,1	1	52
OP7	35	18	20	2	75
OP8	58,4	7	5,6	2	73
OP9	55,6	19,6	13,4	2,4	91
<b>TOTAL IDLE</b>				<b>19</b>	

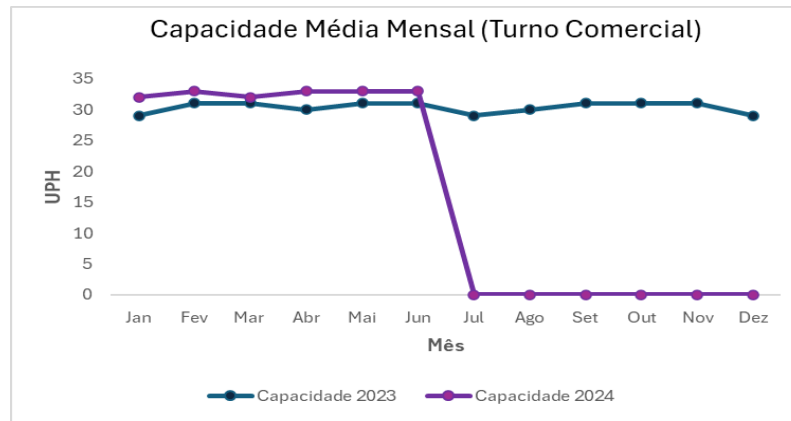
Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A redução do tempo de ociosidade ocorreu principalmente na OP4, que é o gargalo da linha de montagem, ou seja, atividades que não agregam valor (*NVA*) foram reduzidas conforme mostrado no Quadro 11 e Quadro 12 que o tempo ocioso do gargalo era de 7,2 segundos e passou a ser de 0,6 segundos por *Slot*, e desta forma, reduziu-se o tempo de ciclo do posto gargalo, ou seja, foi possível aumentar a capacidade produtiva da linha em relação ao período antes da implementação, como pode ser mostrado na Figura 22.

Conforme mostrado na Figura 22, com a implementação dos *WIPs* no processo estudado, obteve-se um resultado satisfatório, uma vez que foi possível reduzir o tempo de ciclo da linha, e conseqüentemente, aumentar a capacidade produtiva, onde a produção era de 31 peças/hora e passou a ser de 33 peças/hora, o que corresponde a um aumento de 6% na

capacidade de produção da linha de montagem de rádios automotivos. Desta forma, o aumento de 6% na capacidade produtiva da linha traz um retorno de R\$ 14.090,74 reais ao ano.

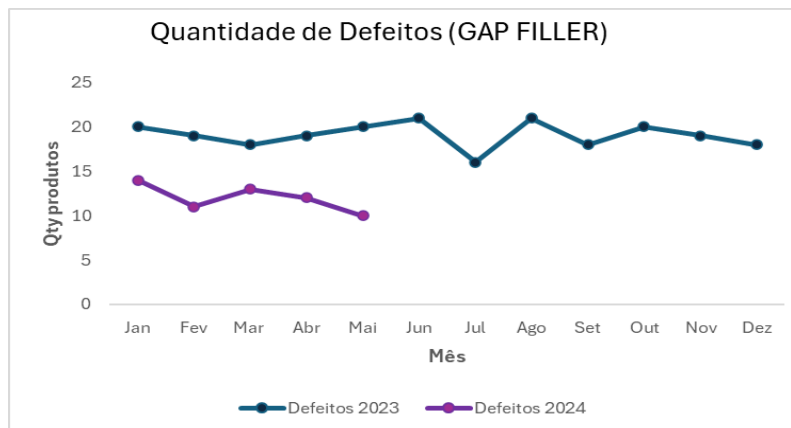
**Figura 22**– Análise da capacidade produtiva da linha após implementação dos *wips*



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

Em relação ao sistema de controle de *FiFo* dentro dos *WIPs*, os resultados foram satisfatórios, pois o sistema funcionou conforme o esperado, não aumentou o tempo de ciclo das atividades operacionais e foi possível obter uma redução na quantidade de defeitos relacionados ao endurecimento de *GAP Filler*, conforme mostrado na Figura 23.

**Figura 23**– Análise da quantidade de defeitos por endurecimento de *GAP Filler*



**Fonte:** Elaborado pela Autora (2024).

Como mostrado na Figura 23, após a utilização do sistema de controle *FiFo* em um dos *WIPs* ocorreu a diminuição dos defeitos por endurecimento de *Gap Filler*, que é um processo natural que deve ocorrer, porém, quando o endurecimento ocorre antes do fechamento da tampa do *chassi* do produto, há dificuldade no encaixe desta tampa e o produto é separado para ser retrabalhado. Contudo, após a utilização do sistema desenvolvido, ocorreu uma redução de 37% neste tipo de defeito após a implementação do sistema.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo principal realizar o dimensionamento e o controle *FiFo* de *WIPs* de um processo de montagem de rádios automotivos.

Este objetivo foi concluído, uma vez que foi possível realizar o dimensionamento por meio do *Software Plant Simulation*. Onde se obteve a virtualização da linha de montagem estudada com a inclusão dos *WIPs* entre as estações de trabalho, sendo possível determinar o tamanho ideal para atendimento da demanda da linha de montagem.

Com isto, obteve-se um resultado satisfatório, porque utilizando os *WIPs* com tamanho limitado, obteve-se a redução do tempo de espera, redução do tempo de ciclo da máquina gargalo da linha e como consequência o aumento da capacidade produtiva.

Desta forma, a determinação do tamanho dos *WIPs* por meio do *software* de simulação é uma técnica eficaz que tem um impacto benéfico nos processos produtivos, uma vez que pode ser usada não somente para limitar o tamanho dos *WIPs*, mas para realizar inúmeras otimizações dependendo do processo no qual está sendo estudado.

Além disso, desenvolveu-se um sistema de controle automático de *FiFo* para as peças em *WIP*, utilizando os recursos da eletrônica e automação, onde se obtiveram bons resultados quando implementados na linha de montagem, pois foi possível reduzir o índice de defeitos após a implementação deste sistema.

Para a execução deste projeto tiveram quatro objetivos específicos, em que o primeiro visou o mapeamento do processo produtivo, que se tratou do desenho do *layout* do processo, estudo do fluxo de montagem e a coleta de dados que foi feita utilizando a cronoanálise e metodologia *Yamazumi*. O segundo objetivo específico foi a realização da simulação do processo de montagem, feita com os dados reais obtidos na etapa de coleta de dados.

A análise do processo produtivo com a técnica de cronoanálise e *Yamazumi* metodologia foi de suma importância para a realização da simulação computacional, uma vez que torna o ambiente de simulação mais próximo possível do processo em estudo.

O terceiro objetivo específico consistiu em implementar o sistema de controle na linha de montagem, onde para isso foram desenvolvidos os dispositivos mecânicos para limitar fisicamente a quantidade de rádios em *WIP* integrado ao sistema de controle *FiFo*. Este objetivo também foi atingido, pois ao implementá-lo obteve-se os resultados esperados, pois o sistema de detecção de rádios por meios dos sensores indutivos funcionou corretamente, e o travamento do rádio na base através dos cilindros pneumáticos ocorreu como esperado,

forçando os operadores a obedecer à sequência *FiFo* das peças colocadas em *WIP* e estocar somente a quantidade determinada.

E o último objetivo consistiu na validação do projeto por meio da análise da capacidade produtiva da linha após implementação, em que se obteve um resultado satisfatório, uma vez que aumentou a capacidade produtiva em 6% e reduziu-se o índice de defeitos relacionados aos produtos em *WIP* o que equivale a um ganho de R\$ 14.090,79 reais por ano para a empresa, desta forma, todos os objetivos do projeto foram alcançados. Além disto, com a implementação do sistema foi possível obter uma redução de 37% no índice de defeitos ocasionados pelo endurecimento de *Gap Filler*.

Quanto as limitações da pesquisa, a lógica de programação foi desenvolvida para uma quantidade definida de *WIPs*, uma vez que para que o projeto de limite de *WIP* seja implementado em sistemas com limite de produtos menor ou maior, é necessário a realização da adaptação do código, ou seja, o mesmo foi personalizado para atender ao processo de manufatura em estudo e a estrutura mecânica desenvolvida, também foi personalizada para o produto específico que é produzido na linha, tendo que ser modificado ou adequado para outro produto caso seja necessário implementar em outras linhas de produção.

Como trabalhos futuros, pretende-se integrar o sistema *FiFo* nos demais *WIPs* da linha, uma vez que ele só foi integrado em um *WIP* de capacidade máxima de três peças para validação, além disso, realizar a integração destes *WIPs* com o sistema *MRP* para se obter um histórico sistêmico e melhorar a rastreabilidade dos produtos, uma vez que atualmente todas as máquinas e estações da linha já são integrados na rota dos rádios, com exceção os *WIPs* que foram implantados.

## 6 CONTRIBUIÇÕES

Na área acadêmica, esta pesquisa contribui por meio da aplicação dos conhecimentos da engenharia de produção no ambiente industrial, mostrando dessa forma, os possíveis resultados obtidos após a aplicação dos conteúdos abordados no curso de pós-graduação, além de aproximar a academia do ambiente industrial, sendo base para gerenciar diferentes tipos de pesquisas de cunho acadêmico.

Além disso, o dispositivo desenvolvido, contribui para o desenvolvimento de novas soluções, uma vez que o mesmo pode ser adaptado e aplicado para outras problemáticas existentes no âmbito da Engenharia de Produção, além de incentivar a aplicação da automação, e uso de recursos tecnológicos para o desenvolvimento de produtos com objetivo de solucionar problemas que são identificados por meio de diferentes ferramentas estudadas nessa área.

Na área econômica, considerado o objetivo de implementar um sistema de controle de *Fifo* utilizando recursos da eletrônica e sistema embarcados, contribui de forma a abordar metodologias econômicas para soluções industriais, ou seja, mostra que é viável implementar uma solução com baixo custo, utilizando os recursos disponíveis no ambiente industrial. Além disso, a simulação computacional é uma ferramenta que possibilita a virtualização de processos e simulação de soluções sem que seja necessário a alteração do sistema físico, possibilitando uma maior economia para quem a utiliza, tanto para fins acadêmicos como industriais.

Quanto a contribuição social, o projeto aborda um método de otimização e melhoria de processos industriais que apresenta um ganho financeiro para empresa, ou seja, quanto mais a indústria otimiza os seus processos é possível reduzir custos e aumentar a demanda, onde se tem como hipótese de que possa contribuir para os clientes e profissionais deste seguimento. Além disso, contribui para o trabalho das pessoas na empresa onde o projeto foi aplicado, porque reduz a necessidade de realização de retrabalhos, tornando a rotina de trabalho dos operadores e técnicos com menor índice de fadiga.

## REFERÊNCIAS

- ABRÃO JUNIOR, A. A. et al. **A Aplicação da Filosofia Just in Time: Impactos no Estoque em um Estudo Comparativo.** 2022. XII FATECLOG. São Paulo. ISSN:2357-9684.
- AMORIN, L. et al. **Melhoria de Eficiência Produtiva de uma Linha de Produção: Um Estudo de Caso em um Indústria de Produtos Médicos.** 2020. Journal of Production Engineering, São Mateus, Editora UFES/CEUNES/DETEC. Disponível em: <https://doi.org/10.47456/bjpe.v6i7.33081>. Acesso em: 28 de junho de 2023.
- AICHOUNI, A. B. E. et al. **Process improvement methodology selection in manufacturing: A literature review perspective.** 2021. Razak Faculty of Technology and Informatics, Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Malaysia. Disponível em: <http://www.science-gate.com/IJAAS.html>. Acesso em: 27 de junho de 2023.
- AFRIANSYAH. SALADIN, M. A. Production Planning and Control System with Just in Time and Lean Production: A Review. 2019. **Jornaul of Mechanical Science and Engineering.** ISSN: 2354-9454.
- ALMEIDA, A. SOUSA, P. Desenvolvimento de Dispositivos Vestíveis para Monitoramento de Saúde Utilizando Arduino Uno. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 42, n. 2, p. 78-85, 2022.
- ALMEIDA, I. M. et al. Desenvolvimento de Dispositivo Vestível para Monitoramento de Saúde Utilizando Arduino. **Revista de Tecnologia e Inovação em Saúde**, v. 7, n. 1, p. 45-56, 2023.
- ALMEIDA, L.S. **Revisão Bibliográfica sobre Modelagem e Mapeamento de Processos.** 2023. Instituto Federal do Espírito Santo. Dissertação (Graduação em Engenharia de Controle e Automação). Serra, Espírito Santo.
- ALVES, D. **Processo de Movimentação de Mercadorias.** 2021. Blucher. Disponível em: <https://www.travessa.com.br/processodemovimentacaodemercadorias1ed2021/artigo/b5905e3b-e1a5-404e-b9de-99de702a8360>. Acesso em: 2 de Fevereiro de 2024.
- ARAÚJO, J. U. et al. **Gestão de Processos Industriais: A importância do Controle no Processo Produtivo para a Garantia da Qualidade Final do Produto.** 2020. Goiás. Disponível em: <https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/handle/123456789/1234>. Acesso em: 19 de julho de 2023.
- ARDUINO. **Arduino Uno - Overview.** 2024. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- BALAJI, K.C. et al. **Continuous Improvement in Just in Time Manufacturing (JIT), A Systematic Literature Review.** 2021. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology. Vol 6. ISSN: 2455-2143.

BAMBURA, R. et al. **Implementation of Digital Twin for Engine Block Manufacturing Processes**. 2020. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/427411405.pdf>. Acesso em: 27 de dezembro de 2023.

BANGSOW, S. **Tecnomatix Plant Simulation: Modeling and Programming by Means of Examples**. 2020. Springer. 2ª Edição. ISBN: 978-3030415433.

BERTOCHI, R. G. **Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor no Processo de Resfriamento de Carcaças de Frango**. 2019. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção). Paraná, Pato Branco.

BASTOS, J. C. A.; BARROS, J. M. FERNANDES, L. F. C. Lean tools: A study of work analysis and work distribution application. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 3, 2020. Disponível em: <https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/2946>.

BORGES, E.R. **Simulação da Instalação de uma Linha de Produção em U na Indústria Automobilística**. 2021. Universidade Federal do Pampa. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Pampa, Alegrete.

CALDEIRA, A. et al. Application of Yamazumi Chart to improve productivity in a bottling company: A case study. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 57, pt. 3, p. 370-381, 2021. DOI: 10.1016/j.jmsy.2020.12.004.

CALOS, M. F. MARIANO, K. N. S. **Just in Time: Um Conceito Ainda Inovador**. 2020. Sul-Mineiro Business Management Journal. FADMINAS.

CAMELO, I. M. F. S. **Métodos e Tempos e Implementação de Ferramentas de Melhoria Contínua**. 2019. Instituto Superior de Engenharia de Porto. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial).

CAMPAGNARO, G. **Gestão de Estoque: Estudo de Caso em uma Empresa do Ramo de Comércio Varejista**. 2019. Universidade Ato do Vale do Rio do Peixe. Dissertação (Graduação em Administração). Fraiburgo.

CARMINATI, R. O. **Aplicação do Mapeamento do Fluxo de Valor em uma Fábrica de Cânulas**. 2017. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. Dissertação (Graduação de Engenharia de Produção).

CARABALLO, A.; MATINEZ, J. Design of an Arduino-based embedded system for home automation applications. **Journal of Systems Architecture**, 112, 101975, 2022.

CARVALHO, J. D. **Melhoria Contínua nas Organizações**. 2021. Lidel- Edições Técnica, Lda. 1ª Edição. ISBN: 978-989-752-633-6.

COLEONE, M.; FRÓES, N. J. M. Uma Proposta de Melhoria no Arranjo Físico de uma Fábrica do Setor Têxtil. 2019. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. v. 14, n.3, p. 98 - 109, 2019.DOI: 10.15675/gepros.v14i3.2608.

COSTA, P. S. **Proposta de Layout de Indústria Náutica com o Tecnomax Plant Simulation**. 2022. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Graduação em engenharia Naval). Santa Catarina, Joinville.

COVIC, A. et al. A Importância da Acurácia no Controle de Estoques. 2022, **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação- REASE**. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/download/5832/2287/8848>. Acesso em: 18 de julho de 2023.

CURCIO, D. et al. Ferramentas para Melhoria Contínua na Gestão da Qualidade: Benefícios e Desafios de Programa 5S nas Organizações de Pequeno Porte. 2019. **Revista Dimensão Acadêmica**. ISSN 2525-7846, v.3, n.2. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2019/04/revista-dimensao-academica-v03-n02-artigo04.pdf>>. Acesso em: 09 de julho de 2023.

CHAGAS, B. A. A. **Gestão de Estoques: Uma Análise de Gestão da Baker Lima Padaria**. 2020. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Bacharelado em Administração). Santa Catarina, Florianópolis.

CHANGHONG, Y. et al. **Simulation design and optimization of production line of a cross axis machining based on Plant Simulation**. 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1654/1/012044/pdf>. Acesso em: 27 de dezembro de 2023.

CHEN, L. et al. Arduino-Based Industrial Control System for Real-Time Process Monitoring. **IEEE Access**, v. 8, p. 113140-113150, 2020.

CRUZ, M. A. **Planejamento de Controle de Estoque em uma Empresa de Pequeno Porte: Um estudo de Caso Visando Melhoria na Gestão do Estoque**. 2022. Centro Universitário Ritter dos Reis. Dissertação (Bacharelado em Engenharia de Produção). Canoas. 2022.

DARON, M. **Simulations in planning logistics processes as a tool of decision-making in manufacturing companies**. 2022. Disponível em: <https://sciendo.com/article/10.30657/pea.2022.28.38>. Acesso em: 27 de dezembro de 2023.

EGEA, L. E. et al. Design and implementation of a real-time operating system for embedded systems in the Internet of Things era. **Sensors**, 20(21), 6216, 2020.

FEDORKO, G. et al. **Research on Using the Tecnomatix Plant Simulation for Simulation and Visualization of Traffic Processes at the Traffic Node**. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/12131>. Acesso em: 18 de julho de 2023.

FENILI, R. R. **Gestão de Materiais**. 2º Edição. Brasília: ENAP Escola Nacional de Administração Pública. 2016.

FERNANDES, V. R. C. FERNANDES NETO, A. P. **Proposta De Melhoria De Estoque De Uniformes Utilizando a Curva Abc: Um Estudo De Caso**. 2021. Disponível em: [https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/8696/1/Vict%C3%B3riaRCF\\_ART.pdf](https://repositorio.ufersa.edu.br/bitstream/prefix/8696/1/Vict%C3%B3riaRCF_ART.pdf)>. Acesso em 18 de julho de 2023.



- FERNANDES, G. A. et al. **Gestão De Estoque: Um Estudo De Caso na Casa de Carne União De Guaíçara-Sp**. 2020. Disponível em: <https://unisalesiano.com.br/lins/wp-content/uploads/2022/05/Artigo-22-corrigido-contabeis.pdf>. Acesso em 18 de julho de 2023.
- FERREIRA, I. S. B. et al. Aplicação da Simulação Computacional no Setor de Produção de uma Empresa de Software. 2020. **Congresso Brasileiro de Engenharia e Produção**. Disponível em: [https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/09272020\\_170916\\_5f70f61cd9f8d.pdf](https://aprepro.org.br/conbrepro/2020/anais/arquivos/09272020_170916_5f70f61cd9f8d.pdf). Acesso em 18 de julho de 2023.
- FERREIRA, L. C. PETRY, M. V. (2023). **An Arduino-based approach for monitoring and controlling smart farming systems**. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201(1), 106198.
- FLEURY, M. T. L.; WERLANG, S. R. C. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. **Anuário de Pesquisa** 2016-2017, p. 10–15, 2017. Disponível em: <https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/apgvpesquisa/issue/view/4030/1982>. Acessado em: 20 de julho. 2023.
- FONSECA, M. B. et al. Desenvolvimento de um Sistema de Monitoramento Residencial Utilizando Arduino e Internet das Coisas. **Anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**, v. 39, n. 4, p. 1-10, 2023.
- FONSECA, A. S.; GOMES, M. M. Utilização do Gráfico de Yamazumi na Análise de Desempenho de uma Linha de Produção: Um Estudo de Caso na Indústria Têxtil. 2021 **Revista de Administração de Empresas**, v. 61, n. 5, p. 465-478, 2021. DOI: 10.1590/S0034-759020210503.
- GIACOMIN, C.; SERVARE JUNIOR, M. W. J. Controle de Estoques como Diferencial Estratégico: Aplicação em uma Empresa Varejista do Segmento Têxtil. 2022. **Brazilian Journal of Production Engineering**. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/37046/25123>. Acesso em 18 de julho de 2023.
- GONÇALVES, C. B.B.M. **Otimização de Processos Lean com base em Simulação. Caso de Estudo**. 2022. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial).
- GONZALES, J. H. C. KUWAHARA, N. Production Line Virtualization Process Using Plant Simulation Tool. 2021. **International Journal for Innovation Education and Research**. ISSN 2411-2933.
- HUANG, Y. HUANG, C. **Survey of embedded system security based on machine learning**. *Security and Communication Networks*, 2023(1), 1-17.
- HEMALATHA, C. et al. **Lean and Agile Manufacturing for Work-In-Process (WIP) Control**. 2021. ELSEVIER. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.473>. Acesso em 18 de julho de 2023.
- HOLTZ, T. H. **Análise Baseada em Simulação de Políticas de Estoque e Práticas de Coordenação em uma Cadeia de Suprimentos de Placas Eletrônicas**. 2020. Universidade

Federal de Santa Catarina. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção). Florianópolis, Santa Catarina.

JIANG, M.; WANG, H. **Embedded system design: challenges and trends**. IEEE Access, 8, 108033-108045, 2020.

JONES, P. Industrial **IoT with Arduino**. *Hackster.io*.2020. Disponível em: <https://www.hackster.io/industrial-iot-with-arduino>. Acesso em: 12 mar. 2024.

KHAN, M. et al. Application of Arduino microcontroller in industrial automation. **International Journal of Electronics, Communication & Soft Computing Science and Engineering**, v. 6, n. 3, p. 45-52, 2019.

KORMIN, T. G. et al. Simulation Modeling of Manufacturing. 2021. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. Disponível em: <<https://elar.ufrf.ru/bitstream/10995/102771/1/2-s2.0-85101558962.pdf>>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

KUMAR, A.; KAUR, M. Arduino-based control and monitoring system for renewable energy sources. **Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2023(1), 1-14.

LIMA, A.J.C. NOGUEIRA, R.J.C.C. **Production Management and Value Flow: Systematic Review of the Benefits of VSM for the Red Ceramic Industry**. 2024. Revista Foco Interdisciplinary Studies. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n1-151.

LEITE, P. A. S.; NOGUEIRA, R. J. C. SCM (Gestão da Cadeia de Suprimentos) e Indústria 4.0: Uma Revisão Sistemática da Literatura. 2022. **BJD: Brazilian Journal of Development**. ISSN: 2525-8761. DOI:10.34117/bjdv8n6-335.

LUCAS, A. M. et al. Análise e Modelagem Computacional do Processo de Manufatura de Fitas Adesivas em uma Empresa do Polo Industrial de Manaus: Uma Aplicação do Software FleXSIM. 2022. **Revista S&G**. Disponível em: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1776/1606>. Acesso em: 18 de julho de 2023.

LUO, Z.; DONG, H. An embedded system for vehicle-to-vehicle communication based on blockchain technology. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, 19(1), 147-156, 2023.

MACHADO, M. H. G. **Aplicação de Técnicas e Ferramentas na Gestão de Materiais numa Empresa Têxtil**. 2020. Universidade do Minho. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial).

MALEGA, P. et al. Simulation and Optimization of Saw Blade Production in Plant Simulation. 2022. **Advances in Science and Technology Research Journal**. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.astrj.com/pdf-148013-75648?filename=Simulation%20and.pdf>>. Acesso em: 10 de julho de 2023.

MAQUEIRA, J. M. et al. Total Eclipse on Business Performance and Personalization: How Supply Chain Flexibility Eclipses Lean Production Direct Effect. 2021. **Supply Chain Management: An International Journal**.

MARTINS, A. L. P. et al. Simulação Computacional emu ma Indústria de Bolas. 2021. **XII Encontro Nacional De Engenharia De Produção**. Disponível em: <[https://abepro.org.br/biblioteca/TN\\_WPG\\_356\\_1834\\_41998.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/TN_WPG_356_1834_41998.pdf)>. Acesso em: 18 de julho de 2023.

MARTINS, L. B. C.; ALCANTARA, R. L. C. Pesquisa Operacional como Método para Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Uma Revisão Sistemática da Literatura. 2022. **Produto & Produção**, Vol. 23. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ProdutoProducao/article/download/114412/84818>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

MARTINEZ, F.; ALCARRIA, R. Arduino-based embedded system for monitoring and management of plant irrigation. **Sustainability**, 13(4), 2185, 2021.

MARTINS, B. C. et al. Aplicação de Sistemas Embarcados em Veículos Autônomos: Estudo de Caso com Arduino e Raspberry Pi. **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**, v. 25, n. 2, p. 78-89, 2023.

MAZETTO, I. O. **Método Analytic Hierarchy Process (AHP) e Classificação ABC na Priorização de Produtos Importados para Disponibilidade no Estoque**. 2020. Universidade Federal de Uberlândia. Dissertação (Bacharelado em Engenharia de Produção). Minas Gerais, Ituiutaba.

MARTINS, P.; LAUGENI, F. **Administração da Produção**. 3 ° Edição. São Paulo: Saraiva, 2015.

MILANEZ, V. F. A. **Modelo de Simulação para Configuração de uma Linha de Produção de Acumuladores de Energia**. 2021. Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção). Pernambuco, Caruaru.

MILNITIZ, D. **Modelagem e Simulação de Processos**. 2018. Uniasselvi. ISBN 978-85-515-0240-2.

MELO, J. C. An Analysis of JIT from the Perspective of Environmental Sustainability. 2022. **GEPROS**. Universidade de São Paulo. São Paulo, Bauru. Disponível em: <https://www.proquest.com/openview/27ccfd3534e9d5e7a75b6aada659262e/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2034372>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

MORAIS, R. R. et al. Análise de Estratégias em Gestão de Estoque e de Demanda por Meio de Possíveis Cenários: Proposta de um Modelo Mental em Simulação Arena. 2021. **Revista ReGea**. Disponível em: <https://periodicos.unichristus.edu.br/gestao/article/view/3685>. Acesso em: 18 de julho de 2023.

MORAIS, F. C. **Gestão de Estoques: A Chave para o Sucesso nas Pequenas Empresas**. 2021. Faculdade Pitágoras. Dissertação (Graduação em Ciências Contábeis). Belo Horizonte. Disponível em: [https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/38624/1/FERNANDA\\_CANDIDA.pdf](https://repositorio.pgsskroton.com/bitstream/123456789/38624/1/FERNANDA_CANDIDA.pdf). Acesso em: 18 de julho de 2022.

MES, M. R. K. **Simulation Modelling using Practical Examples: A Plant Simulation Tutorial**. 2021. University of Twente. Faculty of Behavioural, Management and Social sciences. Disponível em:

<https://www.utwente.nl/en/bms/iebis/staff/mes/plantsimulation/tutorialplantsimulation13-v20211020.pdf>. Acesso em: 20 de dezembro de 2023.

NEVES, J. P. et al. Análise de processos logísticos utilizando Plant Simulation: Um estudo de caso. 2020. **Revista Brasileira de Logística**, v. 8, n. 2, p. 20-35.

NOGUEIRA, S. P. et al. Implantação do Sistema Milk Run em uma Empresa do Polo de Rodas em Manaus. 2021. **Brazilian Journal of Development**. Amazonas. ISSN: 2525-8761. DOI: 10.34117/bjdv7n12-009.

NUNES, R.S. **Administração de Materiais**. 2º Edição. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC. 2013.

NYLAND, J. J. A.O. L. Gestão de Processos: Abordagem da Administração Moderna. 2022. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2. ISSN 2525-3409.

OLIVEIRA, M. F. **Metodologia Científica: Um Manual para a Realização de Pesquisas em Administração**. 2011. Universidade Federal de Goiás. Goiás, Catalão. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual\\_de\\_metodologia\\_cientifica\\_-\\_Prof\\_Maxwell.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf). Acesso em: 21 de julho de 2023.

OLIVEIRA, M. V.; BERTOLUCI, E. A. **Utilizando a Modelagem e Simulação Computacional para a Criação de Cenários Produtivos Adequados na Indústria Canavieira**. 2021. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2021/parte4/447-551-1-RV.pdf>. Acesso em 18 de julho de 2023.

OLIVEIRA, R. C. et al. Modelagem e simulação de sistemas de produção com o Plant Simulation: Estudo de caso em uma indústria automotiva. 2020. **Revista de Engenharia de Produção e Sistemas**, v. 9, n. 2, p. 67-80.

OLIVEIRA, J. L.; SILVA, M. A. Implementação do Gráfico de Yamazumi como Ferramenta para Melhoria de Processo: Estudo de Caso em uma Indústria de Componentes Eletrônicos. **Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada**, v. 2, n. 3, p. 54-66, 2020.

ONO, G. K.; PINAFFI, T. S. **Utilização de Ferramentas Lean como Proposta de Solução em Desperdícios Logísticos Investigados por Meio de Revisão Sistemática da Literatura**. 2022. Centro Universitario Antônio Eufrásio de Toledo Prudente. Dissertação (Bacharelado em Engenharia de Produção). São Paulo, Presidente Prudente.

PATIL, D. M. S.; DHAWALE, A. W. A Review on Analysis of Production Loss in Terms of Time and Time and Money Due to Insufficient Material Management. 2022. **IJREM: International Journal of Research in Engineering, Science and Management**. Vol. 5. Disponível em: <https://journal.ijresm.com/index.php/ijresm/article/view/1716>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

PEREIRA, A. C. F. **Proposta de um Sistema de Controle Eletrônico para o Estoque de Produtos Intermediários em uma Indústria Siderúrgica**. 2021. Universidade Federal de Pernambuco. Dissertação (Bacharel em Engenharia de Produção). Pernambuco, Caruaru.

PEREIRA, P. R. et al. Simulação de sistemas de manufatura com o software Plant Simulation: Uma revisão da literatura. 2019. **Revista de Tecnologia Industrial**, v. 15, n. 1, p. 10-25.

PEKARCIKOVA, M. et al. Modelling and Simulation in the Tecnomatix Plant Simulation Environment. 2021. **International Scientific Journal Simulation**. ISSN 1339-9640.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª Edição. Editora Feevale, 2013.

REIS, J. G.; PEREIRA, M. F. Aplicação do Gráfico de Yamazumi na Redução de Desperdícios em uma Linha de Montagem de Equipamentos Eletrônicos. **Revista de Gestão Industrial**, v. 17, n. 3, p. 116-133, 2021. DOI: 10.18593/rge. v17i3.28507.

RIBEIRO, E. C. et al. Aplicação do Lean Manufacturing em Conjunto com a Manufatura Aditiva na Redução de Desperdícios em Processos. 2020. **Pesquisa e ação**. Vol. 6. N° 1. ISSN: 2317-3793.

RIBEIRO, P. A. et al. Aplicação do Plant Simulation na análise de layout de uma fábrica de alimentos: Um estudo de caso. 2021. **Revista de Engenharia Industrial**, v. 11, n. 3, p. 45-58.

RIBEIRO, J. et al. Implementação de um Sistema de Controle de Irrigação Inteligente com Arduino Uno e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Agricultura de Precisão**, v. 14, n. 1, p. 20-30, 2023.

ROCHA, F. M. A. L. **Melhoria de Linhas de Produção e sua Simulação**. 2016. Instituto Superior de Engenharia de Porto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores).

RODRIGUES, R. E. N. **Melhoria da Produtividade por meio do Balanceamento do Fluxo de Operação Aplicado em uma Empresa do Ramo Oftálmico do Polo Industrial de Manaus**. 2017. Universidade Estadual do Amazonas. Dissertação (Graduação em Engenharia Mecânica). Amazonas, Manaus. 2017.

SÁ, A. **Administração de Materiais: Introdução a Administração de Materiais**. 2021. Livro Eletrônico Gran Concursos. Disponível em: <https://www.grancursosonline.com.br/download-demonstrativo/download-aula-pdf/codigo/LPModuWRTMg=>. Acesso em: 08 de junho de 2023.

SALGADO, E. G. et al. Análise da aplicação do mapeamento do fluxo de valor na identificação de desperdícios do processo de desenvolvimento de produtos. 2019. **Gestão da Produção**. São Carlos. v. 16, n. 3, p. 344-356.

SANTOS FILHO, P. S. **Uma Visão Geral da Eficiência Energética na Indústria e Contribuições da Metodologias: Ciclo PDCA, 5W2H e WCM**. 2021. Universidade Federal de Ouro Preto. Minas Gerais, João Monlevade. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica).

SANTOS, T. M. N. et al. Melhoria de Processos nas Organizações com Foco na Qualidade do Serviço e/ou Produto para o Cliente. 2021. **Revista Dissertar**. DOI: 10.24119/16760867ed12022314.

SEMBIRING, A. C. et al. **Improvement of Inventory System Using First In First Out (FIFO) Method**. 2019. Journal of Physics: Conference Series.

SETIAWAN, I. et al. **Value Stream Mapping: Literature Review and Implications for Service Industry**. 2021. Jurnal Sistem Teknik Industri (JST). DOI: <https://doi.org/10.32734/jsti.v23i2.6038>.

SIDDIQUI, A. **The Importance of Just in Time (JIT) Methodology and its Advantages in Health Care Quality Management Business – A Scoping Review**. 2022.

SILVA, A. A. et al. O uso do Plant Simulation para Aumento de Produtividade através do Gerenciador de Experimentos. 2022. **Revista Brasileira de Mecatrônica**. Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. São Caetano do Sul, São Paulo.

SILVA, B. W. **Gestão de Estoques: Planejamento, Execução e Controle**. 2º Edição. João Monlevade: BWS Consultoria. 2019. ISBN: 978-17-312-3100-0.

SILVA FILHO, C. R. et al. **Aplicabilidade das Ferramentas da Gestão da Qualidade nas Operações Logísticas**. 2019. X FATELOG. Guarulhos, São Paulo.

SILVA, F. V. S. et al. **Just in Time: Sistema de Redução de Custos e Desperdícios no Setor de Estoque em um Supermercado**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.camporeal.edu.br/index.php/tccadmin/article/view/305>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

SILVA, I. L. et al. Aplicação de Novas Tecnologias na Gestão de Estoques. 2021. **Id on Line Revista Multidisciplinar e de Psicologia**. V.15. ISSN 1981-1179. Disponível em: <http://idonline.emnuvens.com.br/id>. Acesso em: 12 de junho de 2023.

SILVA, L. C. **Gestão e Melhoria de Processos: Conceitos, Técnicas e Ferramentas**. 2015. Bransport. Rio de Janeiro. ISBN: 978-85-7452-749-9. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Gest%C3%A3o-Melhoria-Processos-Conceitos-Ferramentas-ebook/dp/B017TEVKOE>. Acesso em: 09 de julho de 2023.

SILVA, V. R. PAULA, T. C. **Projeto de Melhoria da Gestão de Estoque em uma Padaria**. 2020. Centro Universitário do Planalto. Dissertação (Bacharelado em Administração). Brasília, Distrito Federal.

SILVA, M. A. et al. Aplicação de Sistemas Embarcados na Indústria 4.0: Estudo de Caso com Arduino. **Revista Brasileira de Engenharia de Produção**, v. 14, n. 3, p. 20-35, 2023.

SILVA, A. L. et al. Utilização do Arduino Uno no Desenvolvimento de Dispositivos para Monitoramento de Parâmetros Ambientais. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 36, n. 2, p. 45-52, 2022.

- SOUSA, R. L. S. A Gestão de Estoque como Diferencial Competitivo- Desafios do Mundo Contemporâneo. 2023. **Ciências Sociais Aplicadas**. Vol. 28. Doi: 10.5281/zenodo.10155494.
- SILVEIRA, M. S.; ZUPA, T. S. **A Aplicação de Ferramentas da Qualidade para Melhoria de Processos em uma Empresa de Automação e Soluções Tecnológicas**. 2021. XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção.
- SIQUEIRA, T. M. et al. Aplicação do Estudo de Tempos e Movimentos para Melhorias na Eficiência da Produção: Um Estudo de Caso em uma Empresa de Hidráulica de Carro e Autopeças. 2021. **Brazilian Journal of Development**. DOI:10.34117/bjdv7n6-007. ISSN: 2525-8761.
- SOBRINO, D. R. D. et al. **Developing Simulation Approaches: A Simple Case Of Emulation For Logic Validation Using Tecnomatix Plant Simulation**. 2021. International Conference on Applied Sciences. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2212/1/012011/pdf>. Acesso em: 27 de dezembro de 2023.
- STEPHANI, I. S. **Mapeamento do Fluxo de Valor Aplicado à Logística Industrial - Um Estudo de Caso**. 2020. Universidade Federal de Uberlândia. Dissertação (Graduação em Engenharia Química). Minas Gerais, Uberlândia.
- SUTHAR, Y. K. The Just-in-Time Material Management System: A Review. 2022. 3rd National Conference on Recent Trends in Engineering, Management, Pharmacy, Architecture & Scienc. Tubino, D.F. **Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática**. 3º Edição. Rio de Janeiro. Editora Atlas. ISBN: 978-8597013054.
- VAMBOMMEL, L. **Aplicação de Simulação Computacional em Busca da Melhoria Operacional de uma Linha de Produção de Bisnagas Poliméricas**. 2022. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica).
- VIANA, A. L. et al. Redução de Custos que não Agregam Valor via Melhoria de Processos: Estudo de Caso na Produção de Móveis. 2017. **Revista Espacios**. Vol. 38. ISSN: 0798 1015.
- VIEIRA, K. B. **Utilização de Software Comercial para Otimização de Fluxo de Produção**. 2016. Universidade Federal do Pará. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Pará, Belém.
- VIOLA, R. P. C. GUEDES, E. E. V. **Melhoria de Processo: Um Estudo de Caso sobre a Utilização de Ferramentas da Engenharia para Redução do Nível de Refugo**. 2019. Centro Universitário do Sul de Minas. Dissertação (Graduação em Engenharia de Produção). Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1208>. Acesso em: 08 de julho de 2019.
- VILLANUEVA, D. J. M. CHÁVEZ, J. M. Q. **Metodologia Just in Time para la Reduccion de Inventario en Una Empresa Distribuidora entre Los Anos 2011-2019: Una Revisión de la Literarura Científica**. 2020. Universidad Privada del Norte. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Industrial). Lima, Peru.

VIRGENS, A. M. et al. **Os Benefícios do Controle de Estoque Através do Sistema Fifo para o Gerenciamento da Qualidade**. 2019. Conbrepo. Disponível em: <https://www.docsity.com/pt/os-beneficios-do-controle-de-estoque-atraves-do-sistema-fifo/9405073/>. Acesso em 18 de julho de 2023.

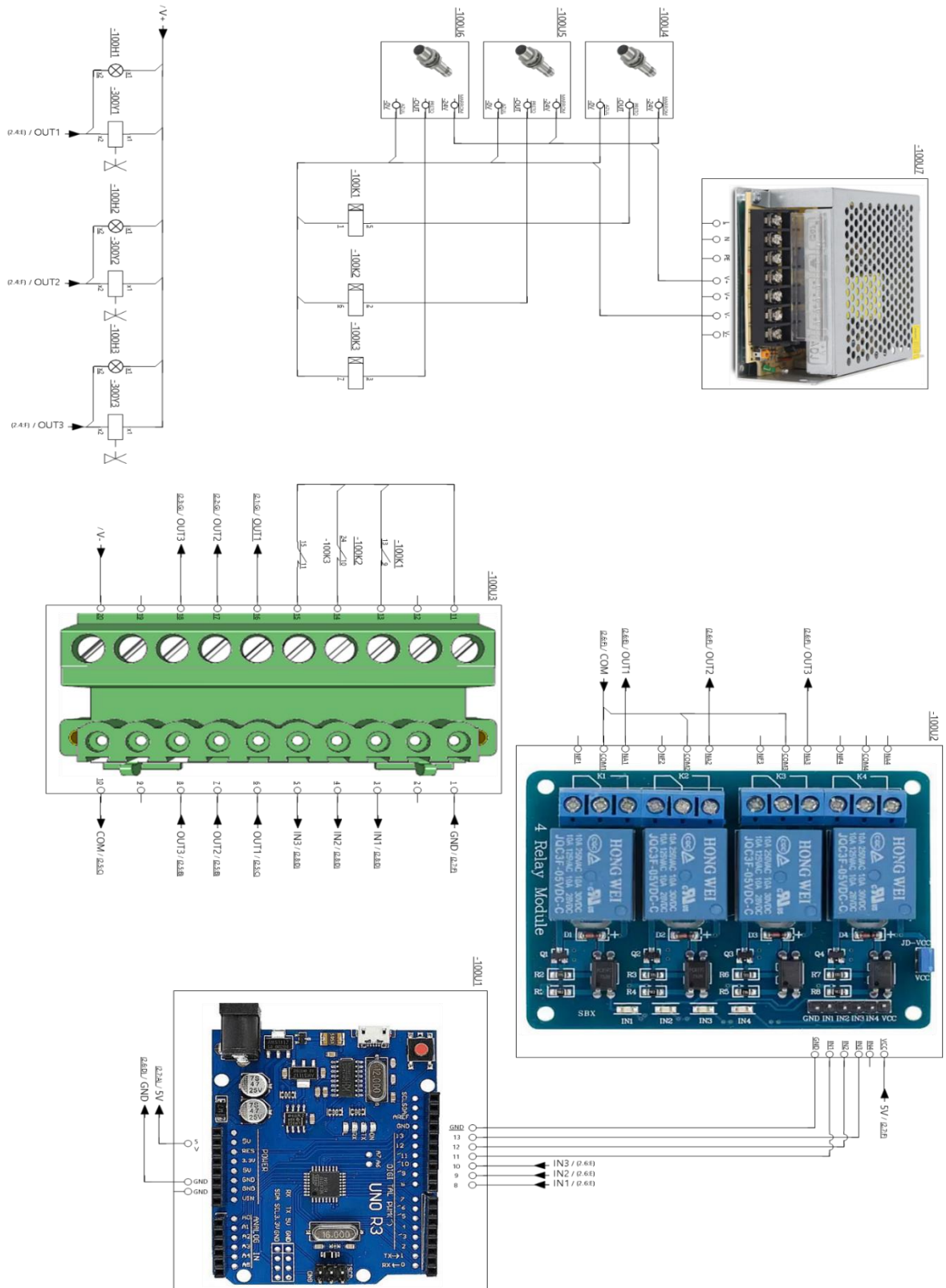
VENTURINI, R. et al. Análise da Aplicabilidade da Filosofia Just in Time em uma Empresa do Setor Metalmeccânico. 2021. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**. Vol. 1, n° 7. ISSN: 1988-7833. Disponível em: <http://doi.org/10.51896/CCS>>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

YIN, R. K. **Estudo de Caso Planejamento e Métodos**. 2015. 5ªed. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=EtOyBQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 24 de julho de 2023.

XU, F. The Study of Just-in-Time Inventory Management Based on the Perspective of the Internet of Things. 2021, Atlantis Press. **Advances in Social Science, Education and Humanities Research**, Vol. 610. School of Accounting, Shandong technology and Business University. China.



## ANEXO A – ESQUEMA ELÉTRICO DO SISTEMA FIFO



## ANEXO B – ESQUEMA ELETROPNEUMÁTICO DO SISTEMA FIFO

