

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MARCOS ANDRÉ MOURA JORDÃO EMERENCIANO

SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING (SLP) E VISÃO COMPUTACIONAL
APLICADOS A MELHORIA DE PROCESSO: um estudo proposto em uma indústria
do interior de Pernambuco

Caruaru, 2022

MARCOS ANDRÉ MOURA JORDÃO EMERENCIANO

SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING (SLP) E VISÃO COMPUTACIONAL
APLICADOS A MELHORIA DE PROCESSO: um estudo proposto em uma indústria
do interior de Pernambuco

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes

Caruaru, 2022

MARCOS ANDRÉ MOURA JORDÃO EMERENCIANO

**SYSTEMATIC *LAYOUT* PLANNING (SLP) E VISÃO COMPUTACIONAL
APLICADOS A MELHORIA DE PRODCESSO: um estudo proposto em uma indústria
do interior de Pernambuco**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Área de concentração: Otimização e Gestão da Produção

Aprovada em: 13/06/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Sampaio Lopes (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dra. Marcele Elisa Fontana (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Robson Bruno Dutra Pereira (Examinador Externo)
Universidade Federal de São João del-Rei

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, a minha esmeralda baiana que com muito carinho e apoio não mediu esforço para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos ao grande mestre do universo, Deus, que incansavelmente confia e dedica-se a esta humanidade.

Aos meus pais, que por várias vezes abdicaram de suas conquistas e caminhos para construir os meus.

Posteriormente agradeço a todos os desafios enfrentados, pois eles me forjaram no caráter e sabedoria de vida.

Ao Professor Dr. Rodrigo Sampaio Lopes, pelo comprometimento e dedicação para comigo.

Em destaque, a minha esposa. Esmeralda rara das terras de Campo Formoso, a qual se dedica diariamente ao nosso projeto de uma vida abundante em amor e respeito.

RESUMO

Implementação de ferramentas tecnológicas nas indústrias brasileiras se tornou um fator de sobrevivência do negócio, competir com o atual mercado globalizado reforça a importância de melhorias constantes nos processos de produção. Uma seleção consciente da ferramenta tecnológica advinda da indústria 4.0, alinhada às necessidades estratégicas da organização gera diferencial competitivo. Para pequenas e médias empresas implementações deste tipo se tornam ainda mais desafiadoras, pois exigem planejamento e execução precisa, bem como capital para investimento. Este estudo apresenta uma proposta de melhoria para processos voltados a empresa de pequeno e médio porte. Através de uma reconfiguração de *layout* somado ao desenvolvimento de um sistema baseado na visão computacional para inspeção em tempo real. Aplicou-se o *Systematic Layout Planning* (SLP) para unificar os interesses dos gestores à um arranjo físico industrial melhorado, resultando em uma proposta com *layout* do tipo U de contexto híbrido. O arranjo ofertado parte da lógica *job shop*, sendo validado por meio da simulação computacional. Como forma de tornar a qualidade como um diferencial para empresas com esse perfil e ofertar uma solução tecnológica de baixo custo, uma segunda etapa deste estudo consiste no desenvolvimento e implementação de um sistema de visão de Máquina. Propõe-se um modelo semiautônomo de julgamento em tempo real dos itens em produção, objetivando reduzir os índices de desperdício e aprimorar a qualidade final dos produtos. Dentre os resultados destaca-se os ganhos de 15,38% em volume de produção semanal, alinhado a uma redução de 30,89% nos níveis de estoques em processamento. Somado aos resultados da nova proposta de *layout* está o desenvolvimento de uma ferramenta promissora, de baixo custo, capaz de potencializar processos e produtos para empresas deste nicho. O estudo identificou também uma possível redução de custos de mão-de-obra além dos benefícios de uma planta fabril adequada à estratégia de produção e fornecendo maior sensação de segurança e bem-estar para os colaboradores.

Palavras-chave: indústria 4.0; visão computacional; melhoria do processo. simulação de *layout*; python.

ABSTRACT

Implementation of technological tools in Brazilian industries has become a factor of survival of the business, competing with the current globalized market reinforces the importance of constant improvements in production processes. A conscious selection of the technological tool from industry 4.0, aligned with the strategic needs of the organization generates competitive differential. For small and medium enterprises implementations of this type become even more challenging because they require precise planning and execution, as well as capital for investment. This study presents an improvement proposal for processes aimed at small and medium-sized enterprises. Through a layout reconfiguration added to the development of a computer vision-based system for real-time inspection. Systematic Layout Planning (SLP) was applied to unify managers interests with an improved industrial physical arrangement, resulting in a proposal with hybrid context type U layout. The arrangement offered is part of the job shop logic, being validated through computer simulation. As a way to make quality a differential for companies with this profile and offer a low-cost technological solution, a second step in this study consists in the development and implementation of a machine vision system. It proposes a semi-autonomous model of real-time judgment of the items in production, aiming to reduce waste rates and improve the final quality of products. Among the results stands out the gains of 15.38% in weekly production volume, aligned with a reduction of 30.89% in the levels of inventories in processing. Added to the results of the new layout proposal is the development of a promising, low-cost tool capable of potentiating processes and products for companies in this niche. The study also identified a possible reduction in labor costs in addition to the benefits of a manufacturing plant appropriate to the production strategy and providing a greater sense of safety and well-being for employees.

Keywords: industry 4.0; computer vision; layout simulation; python.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Processo de digitalização da imagem	23
Fotografia 1 -	Coordenadas espaciais dos <i>pixels</i>	24
Figura 2 -	Resolução da imagem	25
Figura 3 -	Intensidades dos níveis de cinza	26
Figura 4 -	Impactos da resolução dos níveis de cinza na imagem.....	27
Figura 5 -	Canais RGB para formação das imagens coloridas	28
Fluxograma 1-	Etapas para o processamento de imagens	28
Figura 6 -	Aplicação de técnicas de pré-processamento	29
Fotografia 2 -	Identificação e reconhecimento de placas em veículos	30
Figura 7 -	Reconhecimento de objetos	31
Figura 8 -	Detecção de bordas por operador Laplaciano	32
Histograma 1 -	Variação dos histogramas em imagens digitais.....	33
Fluxograma 2 -	Metodologia da Simulação Computacional	36
Fluxograma 3 -	Metodologia SLP	44
Figura 9 -	<i>Layout</i> do tipo <i>Project shop</i>	45
Figura 10 -	<i>Layout</i> do tipo <i>Job shop</i>	46
Figura 11 -	<i>Layout</i> do tipo <i>flow shop</i>	46
Figura 12 -	<i>Layout</i> do tipo celular	46
Figura 13 -	<i>Layout</i> do tipo “U”	47
Planta 1 -	<i>Layout</i> do tipo híbrido	48
Figura 14 -	Tipo de <i>layout</i> industrial adequado a estratégia de produção	49
Fluxograma 4 -	Etapas do método de trabalho	52
Figura 15 -	Fases da implementação do SLP.....	53
Fotografia 3 -	<i>Raspberry Pi 4</i>	54
Fotografia 4 -	Acessórios para o sistema	54
Fotografia 5 -	Aparelho para aquisição de imagem	55
Fotografia 6 -	Fonte de alimentação para o <i>hardware</i>	55
Fluxograma 5 -	Fluxograma do processo de produção.....	58
Planta 2 -	<i>Layout</i> atual	60
Planta 3 -	Relacionamento das etapas de produção	61
Planta 4 -	Espaço disponível na planta industrial	62
Figura 16 -	Carta de interligações preferenciais	64

Planta 5 -	1ª proposta de <i>layout</i>	66
Planta 6 -	2ª proposta de <i>layout</i>	67
Planta 7 -	3ª proposta de <i>layout</i>	68
Fluxograma 6 -	Modelagem das etapas de 1 a 3.....	71
Fluxograma 7 -	Modelagem das etapas de 4 a 8.....	71
Gráfico 1 -	Perdas por etapa	77
Gráfico 2 -	Perdas por etapa estratificadas	78
Gráfico 3 -	Desdobramento das perdas na etapa 2.....	79
Figura 17 -	Impressora flexográfica	80
Fluxograma 8 -	Fluxograma sistema de visão de máquina.....	81
Figura 18 -	Interface do sistema de visão de máquina.....	82
Histograma 2 -	Saída do código desenvolvido	83
Fotografia 7 -	Testes iniciais do sistema de visão.....	84
Fotografia 8 -	Suporte final do sistema de visão	85
Figura 19 -	Suporte com regulagem de distância	85
Figura 20 -	Interface do Sistema em funcionamento.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais ferramentas tecnológicas da Indústria 4.0.....	21
Tabela 2 - Quantidade de <i>bits</i> de uma imagem digital.....	27
Tabela 3 - Necessidades de espaço para posicionamento das máquinas	61
Tabela 4 - Adequação das propostas de <i>layout</i> às restrições.....	69
Tabela 5 - Processamento por etapas em toneladas por hora.....	72
Tabela 6 - Tempo para transporte do produto por etapa	72
Tabela 7 - Tempo para transporte do produto após o novo <i>layout</i>	73
Tabela 8 - Tempo de processamento <i>layout</i> atual x <i>layout</i> 3 ^a proposta	73
Tabela 9 - Indicadores principais <i>layout</i> atual x <i>layout</i> 3 ^a proposta	74
Tabela 10 - Tamanho médio para processamento <i>layout</i> atual x <i>layout</i> 3 ^a proposta ...	75
Tabela 11 - Indicadores principais <i>layout</i> atual x <i>layout</i> 3 ^a proposta	76
Tabela 12 - Variação da distância e ângulo de captura	86
Tabela 13 - Resultados obtidos do sistema de inspeção	87
Tabela 14 - Erro absoluto do sistema de inspeção	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos.....	15
1.2	Justificativa	16
1.3	Estrutura do Trabalho	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Advento da Indústria 4.0	18
2.1.1	Visão Computacional e Sistemas Inteligentes	22
2.1.1.1	<i>Fundamentos da Visão Computacional</i>	22
2.1.1.2	<i>Processo de Digitalização da Imagem</i>	23
2.1.1.3	<i>Imagens em Escala de Cinza</i>	26
2.1.1.4	<i>Imagens Coloridas</i>	27
2.1.1.5	<i>Processamento de Imagens Digitais</i>	28
2.1.1.5.1	<i>Aquisição de Imagens</i>	29
2.1.1.5.2	<i>Pré-processamento</i>	29
2.1.1.5.3	<i>Segmentação</i>	29
2.1.1.5.4	<i>Representação e Descrição</i>	30
2.1.1.5.5	<i>Reconhecimento e Interpretação</i>	31
2.1.1.6	<i>Detecção de Bordas</i>	31
2.1.1.7	<i>Histogramas</i>	32
2.1.1.7.1	<i>Comparando Histogramas</i>	33
2.1.1.8	<i>Biblioteca para Visão Computacional</i>	34
2.1.2	Simulação Computacional de Eventos Discretos.....	35
2.1.2.1	<i>Fundamentos da Simulação</i>	35
2.1.2.2	<i>Vantagens e Desvantagens</i>	38
2.1.3	Industria 4.0 no Brasil.....	39
2.2	Layout Industrial	41
2.2.1	Problemática do <i>Layout</i>	41

2.2.2	Múltiplos Objetivos na Definição do <i>Layout</i>	42
2.2.3	<i>Systematic Layout Planning</i> (SLP)	43
2.2.4	Tipos de <i>Layout</i> Industrial	44
2.2.4.1	<i>Layout Fixo (Project Shop)</i>	45
2.2.4.2	<i>Layout Funcional (Job Shop)</i>	45
2.2.4.3	<i>Layout em Linha (Flow Shop)</i>	46
2.2.4.4	<i>Layout Celular</i>	46
2.2.4.5	<i>Layout Tipo U</i>	47
2.2.4.6	<i>Layout Híbrido</i>	48
2.2.5	Estratégia de Produção Alinhada ao <i>Layout</i>	48
3	MATERIAIS E MÉTODO	51
3.1	Método de Trabalho.....	51
3.2	Etapas do <i>Systematic Layout Planning</i>	52
3.3	Descrição da Empresa	53
3.4	Seleção do <i>Hardware</i>	54
4	ESTUDO DE CASO	56
4.1	Levantamento das Necessidades da Organização e Motivação para o Estudo	56
4.2	Implementação do SLP.....	57
4.2.1	Fase 1: Análise do SLP	57
4.2.2	Fase 2: Pesquisa do SLP	63
4.2.2.1	<i>Limitações Práticas e Restrições</i>	65
4.2.2.2	<i>Alternativas de Layouts</i>	65
4.2.3	Fase 3: Seleção.....	69
4.2.3.1	<i>Aplicação da Simulação Computacional</i>	70
4.2.3.2	<i>Comparando Cenários</i>	74
4.3	Aplicação da Visão Computacional.....	76
4.3.1	Decisão Gerencial da Etapa a Ser Contemplada.....	77
4.3.2	Desenvolvimento do Sistema de Inspeção.....	79
4.3.2.1	<i>Características do Equipamento Inspeccionado</i>	79

4.3.2.2	<i>Lógica de Programação</i>	80
4.3.3	Validação	84
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	89
5.1	Impactos Gerenciais	91
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
7	LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	94
	REFERÊNCIAS	95
	APÊNDICE A -TELA DA FUNÇÃO “MAIN”	102
	APÊNDICE B - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA	103

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução constante dos modos de produção e advento da Indústria 4.0, as implementações massivas das ferramentas tecnológicas promoveram maior tração para diversos negócios nos distintos tipos de mercado. Empresas que implementam tais ferramentas e buscam incansavelmente por melhorar seus processos unindo os ganhos operacionais com a redução dos numerosos tipos de desperdícios difundidos do modelo japonês de produção, tendem a uma maior participação de mercado, bem como lucratividade em seu negócio (SANTOS, 2018).

No Brasil, empresas de pequeno e médio porte buscam alinhar seus processos à sua estratégia empresarial, adequando ao novo modo de produção: mais eficiência e com menor índices de perda. Este é um posicionamento fundamental para a sustentabilidade deste tipo de indústria, pois sofre diariamente com a entrada de produtos mais baratos e com alta qualidade fornecidos por grandes empresas mundiais (VIERA; FRANCO, 2018).

Implementações assertivas de ferramentas da Indústria 4.0 para alavancar um processo fabril de porte médio são bastante desafiadoras, pois as companhias situadas neste nível dispõem de um orçamento restrito e o não atendimento do objetivo após a implementação pode acarretar em perda do capital investido e redução do fluxo de caixa, comprometendo a saúde financeira de toda a cadeia do negócio (POLÍTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL, 2018).

Este estudo origina-se da busca por ofertar um percurso que leve a melhoria do processo produtivo, utilizando uma indústria no ramo de embalagens plásticas, do interior de Pernambuco, como estudo de caso. Alguns desafios advindos do planejamento estratégico da organização e altas expectativas por qualidade dos clientes, estimularam ainda mais a necessidade de um processo mais eficiente e com padrões elevados de conformidades com a especificação dos produtos. Tais necessidades foram agentes causadores de inquietude por solucionar a problemática do atual gestor industrial e autor desta dissertação.

A fase inicial deste trabalho concentrou-se no levantamento das necessidades da empresa, buscando compreender fatores como: demanda, indicadores mercadológicos, situação do processo produtivo, níveis de qualidade dos produtos ofertados e objetivos estratégicos da empresa por meio do diálogo com os Diretores.

A partir dos pontos observados entre o cenário organizacional e as habilidades técnicas da Engenharia de Produção sugere-se uma readequação do *layout* fabril, executada através da SLP com ênfase em promover ganhos de performance no processo. Tais benefícios são

verificados por meios da Simulação Computacional comparando os cenários pré e pós modificação do arranjo físico.

Um segundo tópico desenvolve um Sistema de Visão de máquina a fim de oportunizar ao processo melhoria nos indicadores de qualidade do produto e reduzir os índices de desperdícios da companhia. O modelo é construído com equipamentos de baixo custo e um programa na linguagem *python*, utilizando de um *Raspberry PI* e uma webcam cria-se um sistema para inspecionar e fornecer feedbacks aos operadores. Neste estudo busca-se como foco retirar a subjetividade da avaliação do setor de qualidade da empresa e implementar na etapa geradora de maiores índices de desperdício, informação advinda de uma análise gerencial.

O estímulo para a execução deste trabalho se construiu a partir dos desafios embarcados de oportunizar melhorias nos processos produtivos incluídos nestes cenários globalizados e competitivos. Implementando ferramentas tecnológicas em organizações com recursos escassos, atendendo simultaneamente as necessidades dos *stakeholders* junto ao desenvolvimento de um sistema exequível, que servirá de insumo para estudos futuros e aperfeiçoamento da ferramenta.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Ofertar alternativas de melhoria a processos produtivos, inseridos em cenários de alta competitividade, a partir de ferramentas de baixo custo e rápido retorno do investimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1 - Ofertar soluções para a problemática dos desperdícios do processo;
- 2 - Aplicar a Simulação Computacional para comparar os possíveis ganhos da mudança no *layout* proposto;
- 3 - Desenvolver um Sistema de Inspeção com Visão computacional de baixo custo;
- 4 - Validar uma ferramenta tecnológica, de baixo custo, que promova melhoria nos indicadores de qualidade;
- 5 - Fornecer uma ferramenta que elimine o critério de subjetividade da avaliação da qualidade dos produtos.

1.2 Justificativa

A partir da evolução tecnológica advinda da Indústria 4.0, as empresas ajustaram o foco para os processos internos com estímulos diretos a melhorias de produtividade, redução de custos e maior eficiência nas operações. Grandes *players* das indústrias mundiais investem em pesquisa e desenvolvimento a fim de maximizar a qualidade ofertada de seus produtos e enxugar os diversos tipos de custos e desperdícios de seus processos. Competir neste mercado se torna uma tarefa desafiadora, pois a cada atualização de produto ofertada por essas grandes organizações ao mercado remodela-se os anseios e expectativas dos consumidores e clientes.

Para as indústrias de menor porte, competir neste mercado globalizado e de alta expectativas por qualidade se torna uma tarefa bem desafiadora. Gestores e engenheiros deste subgrupo de empresas buscam priorizar as ações baseadas no maior retorno e menor capital investido, pois normalmente estas organizações não dispõem de orçamentos voltados a projetos e melhorias.

Somado a estes fatos, o cenário detectado na região do interior de Pernambuco aponta uma gestão familiar a frente destas indústrias, culminando em certa reatividade na aceitação de tecnologias a seus processos. Alguns fatores geram a mudança de cultura e comportamento dessas empresas, seja uma nova legislação que obriga modificações do processo, uma nova gestão mais profissional com foco estratégico ou uma queda de vendas e perda de faturamento.

Desta forma, este estudo busca ofertar um caminho factível para soluções de melhorias no processo produtivo deste nicho de empresas. Sugerindo inicialmente rever o atual arranjo físico e promover uma nova proposta de *layout* industrial, visando modernizar a planta fabril e reduzir os diversos desperdícios existentes nas operações.

Somado a isto, este estudo utiliza-se da simulação computacional do *layout* como ferramenta comprobatória dos benefícios da mudança. A simulação busca quantificar e apresentar aos gestores, com perfil menos arrojado, que a disposição do maquinário e respectivos fluxos são fatores primordiais para eficiência dos processos produtivos.

Posteriormente, busca-se o desenvolvimento e validação de uma ferramenta que potencialize a qualidade dos produtos, sendo construída sobre o pilar de baixo custo. Promove-se um sistema de inspeção do produto que somado a nova proposta do *layout*, concede as organizações, com as características semelhantes ao estudo de caso, um produto final com maior índice de conformidade com a especificação e maior eficiência em sua planta produtiva.

A partir dos pontos citados, justifica-se com este estudo contribuir com a comunidade acadêmica sobre possíveis abordagens e ferramentas tecnológicas, facilitando implementações em organizações com recursos escassos. Outra contribuição, interligada ao âmbito organizacional, está na oferta da proposta de reavaliação dos *layout* fabris, buscando oportunizar melhorias aos processos e resultados da companhia.

1.3 Estrutura do Trabalho

- Esta dissertação é constituída por 7 capítulos organizados no seguinte formato:
- Capítulo atual, uma introdução sobre o cenário oportunizado pelos avanços tecnológicos da indústria 4.0, vinculando sobre a ótica das pequenas e médias empresas do Brasil, bem como os principais desafios encontrados pelos gestores inseridos neste contexto.
- No capítulo 2, é apresentada toda a fundamentação teórica que auxiliou o estudo, iniciando pelos fundamentos da indústria 4.0 e suas principais ferramentas tecnológicas, destacando a simulação computacional e a visão de máquina. Posteriormente os conceitos e tipos de *layouts* industriais.
- Já no capítulo 3, está descrito a metodologia aplicada a este estudo, definindo as características principais, etapas de construção e execução da obra.
- Durante o capítulo 4, constrói-se todas as fases de aplicação do estudo. Este capítulo descreve a avaliação inicial do processo de produção da empresa, passa por sugestões de uma nova proposta de arranjo físico e finda na validação de um modelo de inspeção objetivando melhorias no processo.
- No capítulo 5, são discutidos os resultados obtidos.
- No 6º capítulo, são apresentadas as considerações finais do estudo.
- Por fim, o 7º capítulo, destina-se às contribuições científicas, limitações e sugestões para novas implementações.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos relevantes para o entendimento dos métodos utilizados no estudo proposto. Inicialmente uma breve descrição das ferramentas da 4ª Revolução Industrial, em seguida uma abordagem do cenário atual das pequenas e médias empresas no Brasil diante desta revolução. Logo após será descrito modelos de arranjos físicos industriais com seleções por meio de simulações computacionais e, por fim, os conceitos de visão computacional e sistemas inteligentes para classificação de produtos em processamento.

2.1 Advento da Indústria 4.0

A sociedade contemporânea está testemunhando uma evolução tecnológica acelerada, baseada por implementações multisetoriais e ágeis. Diariamente nos deparamos com conjuntos cada vez maiores de dados, informações e decisões, as quais percorrem o âmbito global. Classificando sobre a ótica fabril, este fenômeno foi rotulado entre os estudiosos como a “Quarta Revolução Industrial”. (LIAO *et al.*, 2017; SCHWAB, 2016; SKILTON; HOVSEPIAN, 2017).

Para Schwab (2016), todo este cenário trata-se de um processo sociotécnico com alterações dos ambientes físicos, biológicos e digitais, construídos através da exploração e inovação das tecnologias emergentes oriundas da digitalização. As alterações fizeram com que o comportamento de consumo fosse afetado, acelerando cadeias, estimulando a diferenciação e tornando a velocidade um dos principais indicadores nos negócios.

Desde os primórdios da civilização o homem buscou por promover sua autossuficiência, seja inicialmente através da agropecuária, posteriormente a explosão demográfica forçou os artesãos a desenvolverem um modelo da manufatura para suprir toda a nova demanda. Arelado aos estímulos das problemáticas de como produzir mais e com menor custo, a máquina a vapor surgiu ampliando a capacidade produtiva, o que caracterizou a primeira revolução industrial, entre os anos de 1760 e 1840 (SANTOS, 2018).

No final do século XIX, surge a segunda revolução industrial com a utilização da energia elétrica movendo motores, esteiras, prensas e máquinas. Na terceira revolução, em meados de 1960 surgem as implementações da automação industrial, bastante marcada pelo avanço da eletrônica. Muitas ferramentas utilizadas na Segunda Guerra Mundial fomentaram avanços em telecomunicações, robótica e biotecnologia que foram adaptadas aos processos industriais (SANTOS, 2018).

Partindo de iniciativas público-privadas em países desenvolvidos e difundido inicialmente na Alemanha, projetos que buscavam a construção de fabricas inteligentes e totalmente integradas com a cadeia de suprimento foram estimulados. Como resultado dessa aplicação massiva de tecnologia e integração entre objetos, máquinas e ambientes virtuais emerge a Indústria 4.0 (DRATH E HORCH, 2014).

Simultaneamente com o plano alemão, os Estados Unidos da América inauguram a iniciativa "*Advanced Manufacturing Program*" (AMP) em 2011. Posteriormente culminou na criação do Escritório Nacional de Programas de Manufatura Avançada (AMNPO) em 2012, evoluindo para o "*Smart Manufacturing Innovation Institute*". Já na Europa, a França moldou e apresentou o plano chamado "*La Nouvelle France Industrielle*" em 2013. No mesmo ano, o Reino Unido anunciou a introdução do plano "Futuro da Manufatura" para apoiar o crescimento industrial (LIAO *et al.*, 2017).

Paralelamente aos planos governamentais, uma ampla gama de estratégias industriais e corporativas têm sido desenvolvidas por empresas envolvidas na pavimentação de um caminho para a 4ª revolução industrial. Destacando: AT&T, Cisco, General Electric, IBM e Intel que fundaram em parceria o "*Industrial Internet Consortium (IIC)*" em 2014. Tendo como objetivo principal organizar, coordenar as prioridades além de viabilizar tecnologias da "Internet Industrial" (DRATH E HORCH, 2014).

Os diversos benefícios oriundos da Indústria 4.0 oportunizam as empresas processos de fabricação flexíveis, potencializando as tomadas de decisões estratégicas, táticas e operacionais através das facilidades tecnológicas de análise de dados em tempo real (Nestor *et al.*, 2020).

O pacote de ferramentas tecnológicas promove e suporta as principais vantagens que definem a Indústria 4.0. Inicialmente, fomenta a integração vertical da organização, pois a união dos sistemas de tecnologia da informação e comunicação permeiam entre todos os níveis hierárquicos, estimulando a troca de informação entre a produção e a gestão fabril de maneira contínua. Somado a isto, a integração horizontal contribui na colaboração entre empresas, encorajando a troca de dados, compartilhamento de recursos a fim de suprir demandas e reduzir ociosidades das operações (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Outro benefício que se destaca é a integralidade da Engenharia por toda a cadeia de valor do produto, desde o seu desenvolvimento até o pós venda. Nas operações comerciais o link entre máquinas e produtos promove linhas reconfiguráveis, flexíveis e adaptáveis as diversas oscilações de mercado (SCHWAB, 2016).

A soma destes benefícios potencializa os resultados e se torna um grande diferencial

competitivo, pois torna as empresas mais colaborativas, podendo desenvolver projetos em canais digitais direto com o cliente, ampliando o valor percebido dos produtos e fornecendo customização em massa à demanda (KAGERMANN *et al.*, 2013).

As ferramentas tecnológicas principais que norteiam o modelo de produção 4.0 são denominadas de: sistemas ciber físicos (*Cyber-Physical Systems CPS*), internet das Coisas (IoT), fábricas inteligentes (*Smart Factory*), desenho assistido por computador (*computer-aided design CAD*), manufatura assistida por computador (*computer-aided manufacturing CAM*), sistema de supervisão e aquisição de dados (*Supervisory Control And Data Acquisition SCADA*), sistemas autônomos *que* gerenciam os processos produtivos no chão de fábrica (*Manufacturing Execution Systems MÉS*) entre outros (LI, 2018).

Os CPSs permitem a fusão dos mundos virtual e físico e são definidos como a integração da computação a processos físicos. Computadores, conjunto de sensores e redes embarcadas monitoram e controlam os processos, geralmente com rodadas de feedback. Por intermédio desses sistemas, as empresas têm a oportunidade de representar a realidade do mundo físico em ambientes digitais, promovendo simulações, testes, predições de desgastes, entre muitas outras possibilidades que a tecnologia oferece. Essas aplicações podem representar ganhos expressivos de competitividade para o negócio (LI, 2018).

O termo IoT, utilizado pela primeira vez em 1999, considerando “coisas” e “objetos”, como RFID, sensores, atuadores, celulares, que, através de esquemas de endereçamento exclusivos podem interagir uns com os outros e cooperar com seus componentes “inteligentes” vizinhos, para alcançar objetivos comuns. Toda essa interação e comunicação se torna possível de ser acessada em diversos dispositivos por meio da computação em nuvem. A nova era digital 4.0 vem se tornando possível devido ao maior acesso e gradual redução de custo da aquisição em equipamentos tecnológicos, como exemplo são os sensores, sua instalação por toda linha fabril permite monitorar e controlar diversos parâmetros (BORGUI, 2019).

A próxima tecnologia, *Smart Factory*, embarca as ferramentas de IoT e CPSs inserindo-as no espaço de trabalho e no centro das operações. Podendo ser definida como uma fábrica de contexto consciente que auxilia pessoas e máquinas na execução de suas tarefas. Isso é atingido por todos os sistemas que rodam em segundo plano e realizam suas atividades com base em informações provenientes do mundo físico e virtual (KAGERMANN *et al.*, 2013).

Tabela 1 - Principais ferramentas tecnológicas da indústria 4.0

SIGLAS	TECNOLOGIAS	DEFINIÇÃO
CAD/CAM	Design e fabricação auxiliados por computador	Desenvolvimento de projetos e planos de trabalho para produtos e fabricação baseados em sistemas informatizados
ENG_SYS	Sistemas integrados de engenharia	Integração de sistemas de suporte de TI para troca de informações no desenvolvimento e fabricação de produtos
SENSORING	Automação digital por meio de sensores	Sistemas de automação com tecnologia de sensores embarcados para monitoramento e coleta de dados
FLEXÍVEL	Linhas de fabricação flexíveis	Automação digital com tecnologia de sensores em processos de fabricação (por exemplo, identificação de radiofrequência – RFID – em componentes de produtos e matéria-prima), para promover sistemas de fabricação reconfiguráveis (RMS) e permitir a integração e rearranjo do produto com o ambiente industrial de forma econômica
MES/SCADA	Sistemas de Execução de Manufatura e Controle de Supervisão e Aquisição de Dados	Monitoramento do chão de fábrica com coleta de dados em tempo real utilizando SCADA e controle remoto da produção, transformando o agendamento de longo prazo em pedidos de curto prazo considerando restrições, com MES
SIMULAÇÕES	Simulações/análises de modelos virtuais	elementos finitos, dinâmica de fluidos computacionais, definição de <i>layout</i> . projetos de engenharia e dimensionamento de processos, sistemas de produção, onde modelos sintetizados simulam propriedades do modelo implementado.
BIG DATA	Coleta e análise de dados em um grande repositório	Correlação de grandes quantidades de dados para aplicações em análise preditiva, mineração de dados, análise estatística e outros
DIGITAL SERV	Sistemas digitais de serviço de produtos	Incorporação de serviços digitais em produtos baseados em plataformas de IoT, sensores embarcados, processadores e software que permitem novos recursos
FABRICAÇÃO ADITIVA	Fabricação aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D	Máquinas de fabricação versáteis para sistemas de fabricação flexíveis (FMS), transformando modelos 3D digitais em produtos físicos
CLOUD COMPUTING	Serviços em nuvem para produtos	Aplicação da computação em nuvem em produtos, ampliando suas capacidades e serviços relacionados
MACHINE LEARNING	Sistema de aprendizado para máquinas	Método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos. É um ramo da inteligência artificial baseado na ideia de que os sistemas podem aprender com dados anteriores e, assim, identificar padrões e tomar decisões

Fonte: Adaptado de Li, (2018)

As diversas tecnologias da Tabela 1 fornecem suporte a toda estrutura de benefícios da Indústria 4.0. Espera-se que tais ferramentas influenciem quase todos os aspectos das cadeias de valor dos negócios, ampliem as capacidades industriais, auxiliem nas tomadas de decisão e contribuam na evolução dos modelos industriais (SCHWAB, 2016).

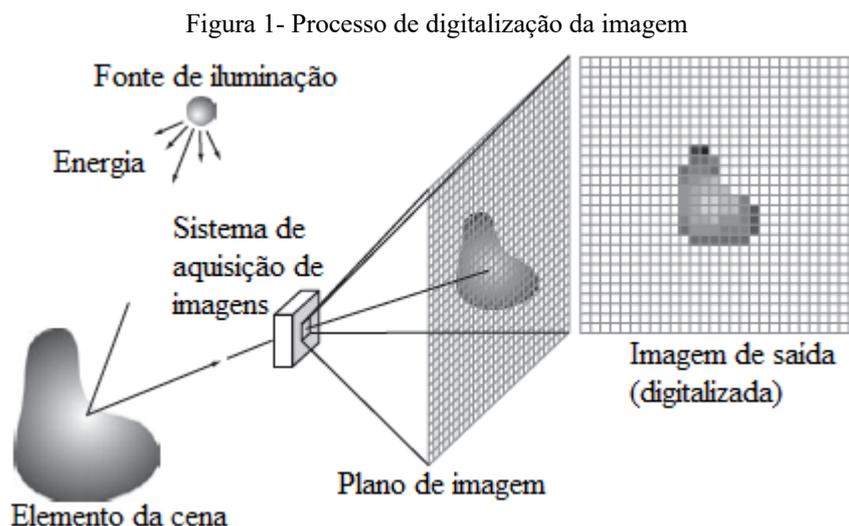
2.1.1 Visão Computacional e Sistemas Inteligentes

2.1.1.1 Fundamentos da Visão Computacional

Através das necessidades geradas de capturar imagens de planetas e estrelas durante as primeiras viagens espaciais, por volta de 1961, em seguida obter um formato de fácil envio junto as informações sobre os astronautas à Terra. Inicia-se a história da câmera digital, nos laboratórios do Instituto de Tecnologia da Califórnia, Eugene F. Lally desenvolveu uma ideia central para um fotossensor capaz de capturar imagens. Posteriormente, em 1975, após algumas pequenas evoluções, o engenheiro Steven Sasson, da empresa Kodak, construiu a primeira câmera eletrônica usando a tecnologia CCD (*charge-coupled device*), dispositivo de carga acoplada que permite a transferência da carga elétrica entre os capacitores para a captura da imagem em formato digital (PATEL, 2012).

Atualmente, a captura de imagens se tornou algo do cotidiano, diversos dispositivos embarcam sensores e aplicativos que convertem a imagem física em arquivos digitais rapidamente. A tecnologia que permite a transcrição da cena para digitalização da imagem é originada pelos sensores (SMITH, 2021).

Inicialmente utilizado os do gênero CCD (*Charge Coupled Devices*) ou sensores de transferência de quadro utilizados nas pequenas câmeras de vídeo em substituição ao antigo conjunto ótico com tubos de vidros, frágeis e pesados. Posteriormente, surge os CMOS (*complementary metal oxide semiconductor*), sensores com fileiras de fotodiodos que convertem a luz em elétrons, para posterior processamento e montagem da imagem digital. Tais sensores apresentam como principais vantagens um menor consumo energético e maior rapidez na conversão (YUNZE *et al*, 2021).



Fonte: Gonzalez (2010)

A Figura 1 apresenta uma simplificação da captura da imagem física, chamada de “Elemento de cena”, onde a energia provinda de uma fonte de iluminação é registrada pelo sensor do sistema de aquisição de imagens. Este sensor é alimentado e o pulso estimula uma saída do sinal analógico. O arranjo destes sensores, tamanho da malha matricial, irá determinar a resolução que cada dispositivo possui. Nas câmeras digitais os sensores estão dispostos de forma matricial. Logo, quando a energia é coletada, projeta-se um plano de saída, a imagem digitalizada (SMITH, 2021).

Fazendo o uso desta tecnologia desperta-se o conceito da Visão Computacional, podendo ser entendida como uma técnica para adquirir, processar, analisar e compreender uma grande quantidade de imagens com alta complexidade a fim de gerar resultados exploratórios, com *feedbacks* de cenários, normalmente aplicados em tempo real. Em resumo, a Visão Computacional automatiza o processo da visão humana, descartando aspectos como fadiga, tempo de resposta e variabilidade cognitiva.

Os ganhos da junção do processamento de imagens digitais e a visão computacional promovem uma ciência de extração de características das cenas e o reconhecimento de padrões visuais, propiciando aplicações em diversos sistemas. O processamento destas imagens capturadas digitalmente é amplamente utilizado na medicina, astronomia, indústrias e em diversas outras áreas específicas (YUNZE *et al*, 2021).

2.1.1.2 Processo de Digitalização da Imagem

Para Liu *et al.*, (2019) uma imagem pode ser compreendida como um conjunto de

pontos que unidos formam um todo. Fotos e vídeos obtidos pelos diversos dispositivos digitais fornecem um pacote de informações que podem ser processadas objetivando o acompanhamento de parâmetros e possível medição de variabilidades em processos industriais.

Segundo Benbarrad (2021) a imagem digital é definida por meio de uma função $f(x,y)$, onde x e y são coordenadas espaciais representativas do pixel e f para cada par (x,y) retrata a intensidade luminosa. Apresenta também valores inteiros não negativos finitos (Z^*), pois representam uma forma de energia.

Fotografia 1 - Coordenadas espaciais dos *pixels*



Fonte: Marques Filho e Vieira Neto (1999)

Para a construção das imagens digitais dois componentes caracterizados são definidos, a iluminância, definido como a quantidade de luz incidente, reflectância sendo a luz refletida nos objetos. De maneira análoga, a construção matemática da função imagem digital é definida pelo produto entre a iluminância $i(x,y)$ e a reflectância $r(x,y)$, pode-se verificar na expressão:

$$f(x,y) = i(x,y) \times r(x,y) \text{ onde,}$$

$$0 < i(x,y) < W$$

$$0 < r(x,y), 1$$

Observa-se que a reflectância está disposta entre 0 e 1, sendo 0 uma total absorção e 1 uma total reflexão. A imagem representada pela função $f(x,y)$ gera uma saída matricial $P \times Q$ e convertida em imagem digital apresentando o seguinte formato:

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & \dots & f(0,Q-1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f(P-1,0) & \dots & f(P-1,Q-1) \end{pmatrix}$$

Nesta matriz, cada elemento é a representação de um pixel, A escolha da resolução de um dispositivo de captura será definida diretamente pela quantidade de pixels, podendo ser representado pela equação:

$$R = \frac{nP}{a}$$

Onde:

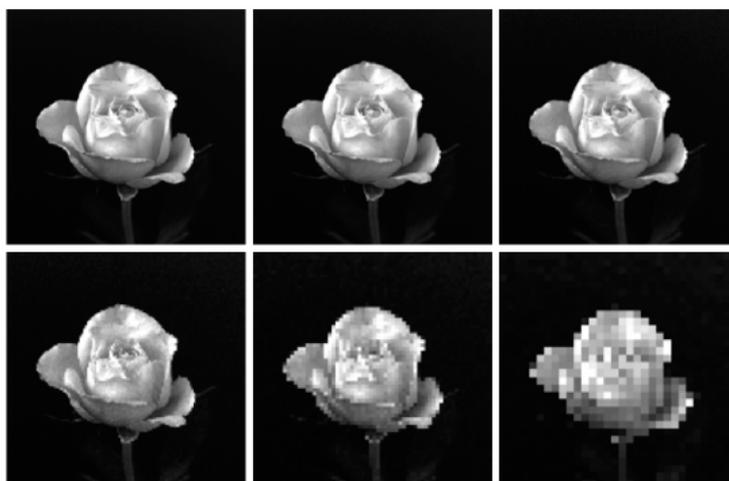
R =resolução espacial;

nP = número de *pixels*;

a = unidade de área.

Representa-se na Figura 2 uma variação da resolução espacial, inicialmente com 102 x 1024 pixels até no ultimo quadrante uma representação com 32 x 32 pixels, observa-se que conforme reduz-se a resolução, e por consequência o número de pixels, os detalhes da imagem são gradualmente afetados (MARQUES FILHO; VIERIA NETO, 1999).

Figura 2 - Resolução da imagem



Fonte: Gonzalez e Woods (2001)

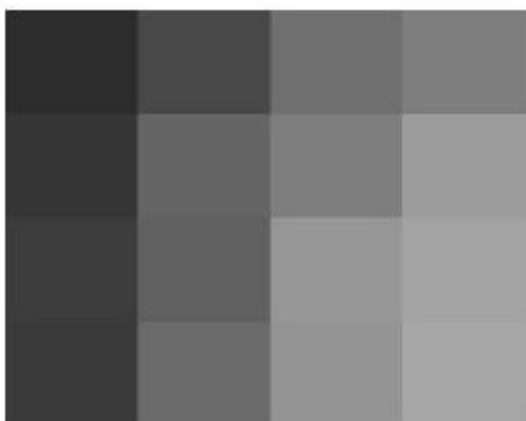
2.1.1.3 *Imagens em Escala de Cinza*

Em face da representação das imagens a resolução é uma variável presente nos dispositivos e sendo ofertada nas mais diversas opções do mercado, alterando assim a percepção dos detalhes nas imagens digitais. O formato de 8 bits é comumente utilizado, sendo explicado por $2^8 = 256$ níveis de tons, variando a classificação entre 0 e 255, onde 0 significa a cor preta e 255 correspondentes a cor branca. A matriz abaixo representa uma imagem desta dimensão e resolução espacial 4x4 (BENBARRAD, 2021).

$$\mathbf{Imagem\ 8\ bits} = \begin{pmatrix} 46 & 74 & 112 & 126 \\ 54 & 101 & 122 & 156 \\ 62 & 97 & 151 & 164 \\ 58 & 107 & 149 & 166 \end{pmatrix}$$

Pode-se observar os diferentes níveis de cinza na codificação matricial e suas respectivas variações de intensidades nos números de cada $f(x,y)$, de forma comparativa segue imagem que foi digitalizada.

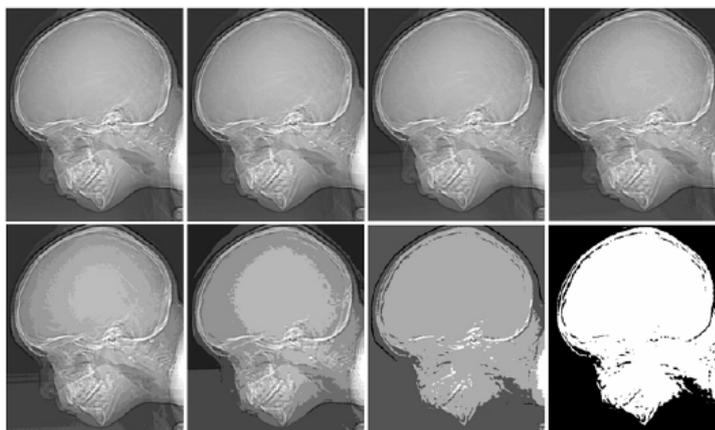
Figura 3 - Intensidades dos níveis de cinza



Fonte: O Autor (2022)

Dimensionar a resolução ideal de níveis de cinza é desafiador. Quanto menor a resolução, temos arquivos menores e mais ágeis no processamento, porém menor é a variação de intensidade do pixel, ou seja, pode-se gerar representações infíeis da imagem. Este efeito pode ser visualizado na Figura 4 a seguir.

Figura 4 - Impactos da resolução dos níveis de cinza na imagem



Fonte: Gonzales e Woods (2001)

Gonzalez e Woods, (2001) em seus estudos formularam uma tabela que relaciona a quantidade de bits de uma imagem, a variação da resolução espacial e sua resolução em níveis de cinza. Onde Q é a dimensão da matriz quadrada e L a quantidade dos níveis de cinza representadas Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidade de *bits* de uma imagem digital

Q	L=2	L=4	L=8	L=16	L=32	L=64	L=128	L=256
32	1.024	2.048	3.072	4.096	5.120	6.144	7.168	8.192
64	4.096	8.192	12.288	16.384	20.480	24.576	28.672	32.768
128	16.384	32.768	49.152	65.536	81.920	98.304	114.688	131.072
256	65.536	131.072	196.608	262.144	327.680	393.216	458.752	524.288
512	262.144	524.288	786.432	1.048.576	1.310.720	1.572.864	1.835.008	2.097.152
1024	1.048.576	2.097.152	3.145.728	4.194.304	5.242.880	6.291.456	7.340.032	8.388.608

Fonte: Adaptado de GONZALEZ; WOODS (2001)

2.1.1.4 *Imagens Coloridas*

Na transcrição das imagens digitais coloridas um dos modelos mais praticados é o RGB, sigla que representa os três níveis de cores, sendo R (*red*) a cor vermelha, G (*green*) verde e B (*blue*) a camada da cor azul. Nesta configuração a imagem é formada por 24 bits, sendo os três canais de 8 bits cada.

Figura 5 – Canais RGB para formação das imagens coloridas



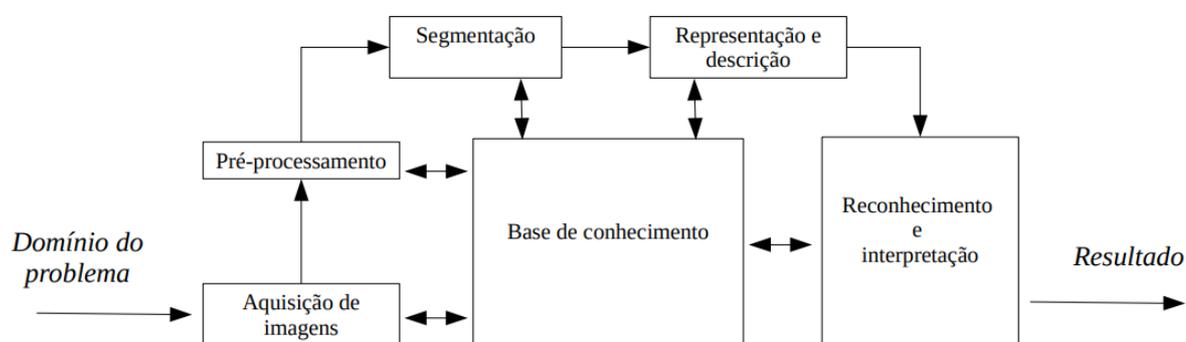
Fonte: O Autor (2022)

O modelo para conversão de imagens digitais permite combinações variadas em busca da reprodução fidedigna, na Figura 5, a resolução atinge 2^{24} níveis, pois existem 3 canais de 8 bits, permitindo assim detalhar 16.777.216 opções de cores. De forma semelhante a representação matricial de uma imagem em escala de cinza, a imagem digital colorida apresenta uma matriz tridimensional, sendo do tipo $(m \times n \times 3)$ de valores inteiros não negativos partindo de 0 a 255 (PASCALE, 2006).

2.1.1.5 *Processamento de Imagens Digitais*

Para Gonzales e Woods (2001) o processamento de uma imagem digital requer algumas etapas. Um ponto primordial está na definição do objetivo deste processamento. Cada etapa está interligada por uma base de conhecimento que contém pontos de decisões e seleção de procedimentos matemáticos para os mais variados fins.

Fluxograma 1- Etapas para o processamento de imagens



Fonte: Adaptado de Gonzales e Woods (2001)

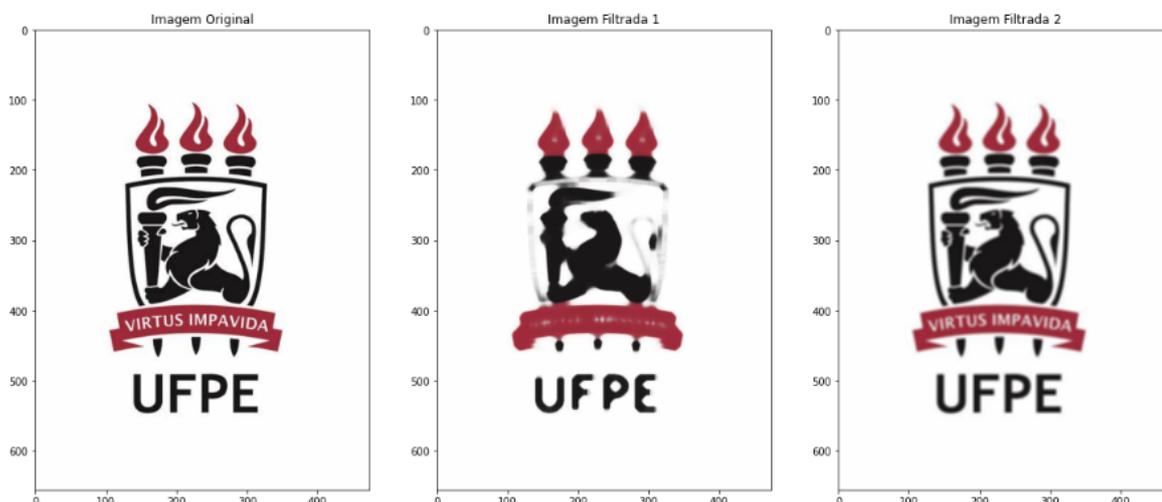
2.1.1.5.1 Aquisição de Imagens

Etapa inicial que tem por objetivo adquirir a informação do mundo físico, conhecido também como cena. A captura requer um mecanismo como câmera fotográfica, aparelho celular, dispositivos de gravação de vídeos (*action cams*) e outros tipos de equipamentos com esta função. Outros fatores que influenciam de forma direta na qualidade da imagem adquirida são: a iluminação da cena, lentes de captura, distâncias focais e velocidade do obturador (BENBARRAD, 2021).

2.1.1.5.2 Pré-processamento

As técnicas de pré-processamento têm a função de aumentar a percepção de qualidade da imagem, existem duas categorias de métodos. A primeira é responsável pelos métodos que operam no domínio espacial, são técnicas como filtros que manipulam o plano das imagens. A segunda executa os pré-processamentos no domínio da frequência, aplicando filtros que agem sobre os espectros das imagens. Esses métodos normalmente são aplicados de forma combinada com objetivo de realçar e reduzir ruídos das imagens (LIU *et al.*, 2019).

Figura 6 - Aplicação de técnicas de pré-processamento



Fonte: O Autor (2022)

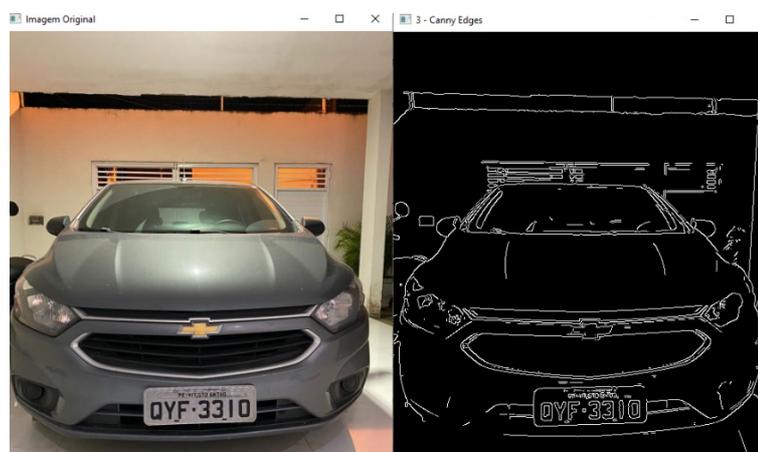
Na Figura 6, pode-se observar um exemplo da aplicação de dois filtros, imagem original, imagem com filtro das medianas, imagem após aplicação de um filtro do tipo “passa-altas” que realça os contornos.

2.1.1.5.3 Segmentação

Na etapa de Segmentação o objetivo principal é particionar a imagem em regiões de

interesse ou extrair objetos constituintes. Aplicar de forma automática este processo é um grande desafio, pois caso os algoritmos executem as linhas de código de maneira incorreta pode-se alterar drasticamente o resultado e as possíveis análises do modelo. Um exemplo de segmentação está nas câmeras de trânsito de diversas cidades, que detectam placas dos automóveis e analisam com o banco de dados em buscas de carros roubados, atrasos de impostos e afins, para tal objetivo utiliza-se a técnica de detecção de bordas (MARQUES FILHO; VIERIA NETO, 1999).

Fotografia 2 - Identificação e reconhecimento de placas em veículos

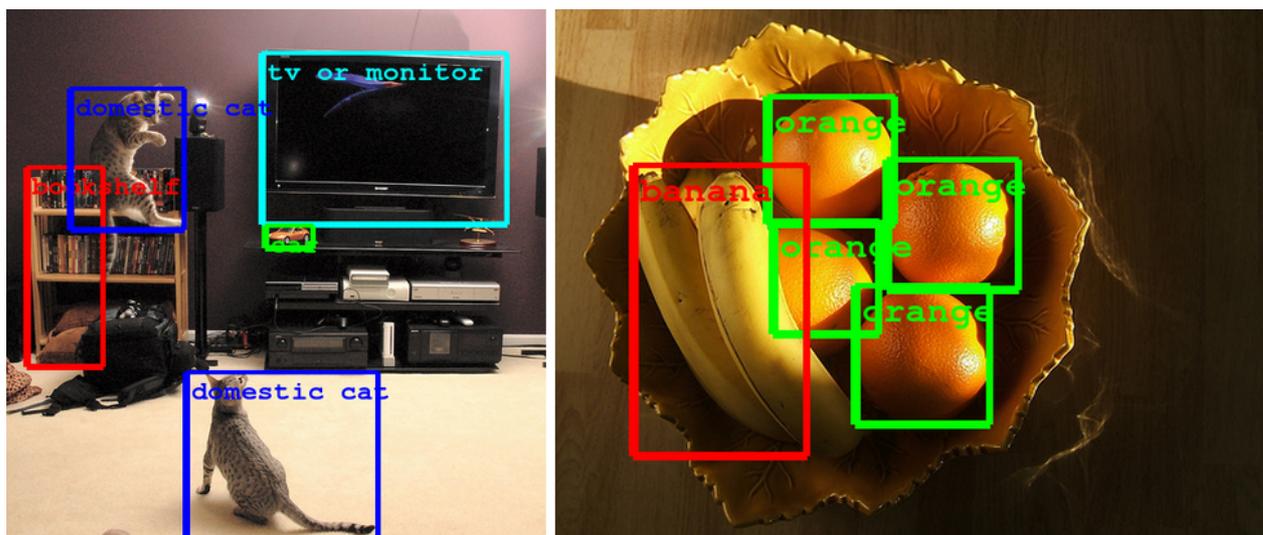


Fonte: O Autor (2022)

2.1.1.5.4 Representação e Descrição

Após a conclusão da fase de Segmentação, a etapa posterior é descrita como representação e descrição, realizando a transformação dos dados obtidos para uma unidade computacional. As representações são classificadas em dois tipos, a primeira quando busca-se na região de interesse as fronteiras, onde se concentra nas características da forma externa como exemplo os estudos de Gallon (2013) que classificava pedras naturais em tempo real por meio de um sistema de vídeo e Andrade (2010) classificando e selecionando as Castanhas do Brasil. A segunda é a representação onde a região de interesse está na parte interna da forma, como é o caso do deste estudo que irá comparar a variabilidade das cores impressas em filmes plásticos.

Figura 7 - Reconhecimento de objetos



Fonte: <https://www.tecmundo.com.br/>

2.1.1.5.5 Reconhecimento e Interpretação

Para Almeida e Lopes (2020) a análise de imagens é um processo de identificação de padrões que geram gatilhos de ações em uma tarefa computacional. A ideia central é automatizar um dos sentidos humanos, a visão, porém sem impactos e oscilações causados por diversos motivos, promovendo uma análise sem desvios, contínua e baseado em fatores e regras ilimitadas.

2.1.1.6 Detecção de Bordas

Para Santos (2017) a detecção de bordas é bastante útil nos códigos de implementação da Visão Computacional, pois contribui para segmentar objetos. Pode-se afirmar que uma borda é um “lugar geométrico” que delimita um objeto qualquer. Nas imagens digitais, as bordas são compreendidas como uma mudança brusca nos valores da matriz pixel, como exemplo uma região de cor preto total sobre uma região branca, o valor de $f(x,y)$ vai de $(0, 0)$ para $(0,1)$.

Se em um ponto da imagem, ou borda existe uma mudança abrupta ou descontinuidade, o vetor gradiente muda de comportamento. Expandido o conceito para as funções das imagens digitais temos que a primeira derivada apresenta valor zero nas áreas em que as intensidades são mantidas e a derivada de segunda ordem informa o comportamento da curva.

Rosenfeld e Kak, 1982 demonstram que o operador derivativo isotrópico mais simples é o laplaciano, podendo ser definido pela Equação.1.

$$\nabla^2 f(x,y) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \quad (1)$$

Onde na direção x tem-se aplicado o definido para derivada segunda:

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} = f(x+1,y) + f(x-1,y) - 2f(x,y) \quad (2)$$

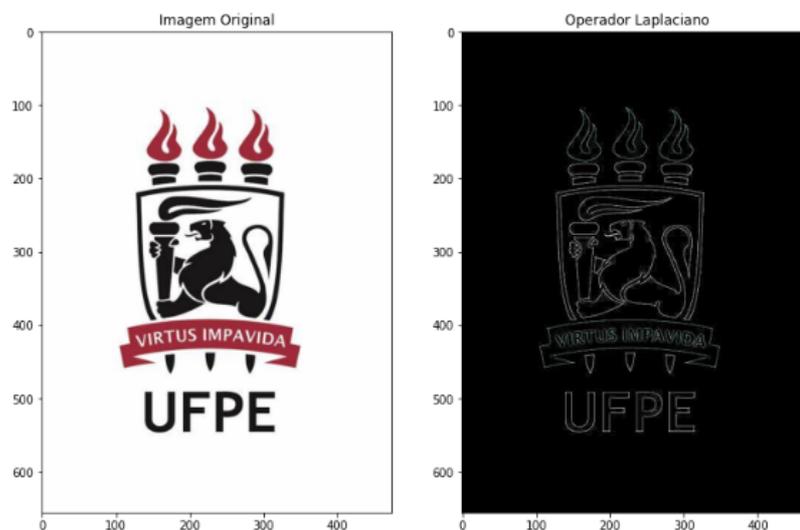
E na direção y, de maneira análoga tem-se que:

$$\frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} = f(x,y+1) + f(x,y-1) - 2f(x,y) \quad (3)$$

Através disso, pode-se obter o Laplaciano discreto para duas variáveis como:

$$\nabla^2 f = f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y) \quad (4)$$

Figura 8 - Detecção de bordas por operador Laplaciano



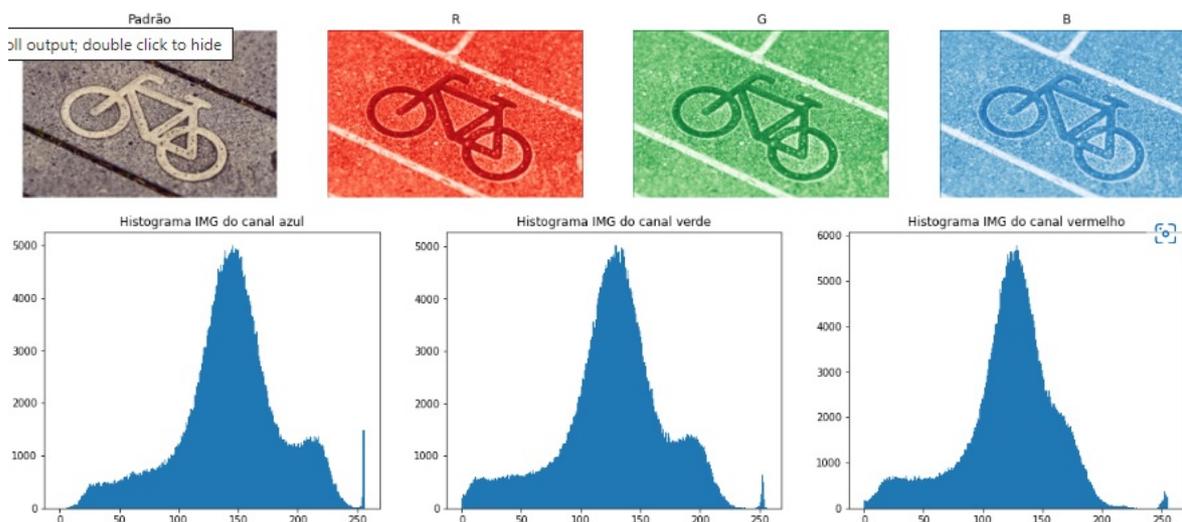
Fonte: O Autor (2022)

2.1.1.7 Histogramas

Para Marques Filho e Vieira Neto (1999), pode-se simplificar a definição de um Histograma de uma imagem como uma tabela estatística que reflete a distribuição dos pixels desta imagem. Normalmente o eixo da ordenada representa o número total de pixels, já na

abscissa descreve o tipo de pixel da imagem. Outro ponto que os autores destacam é que a visualização dos Histogramas gera indicativos da qualidade da imagem quanto ao seu nível de contraste.

Histograma 1 - Variação dos histogramas em imagens digitais



Fonte: O Autor (2022)

Os mesmos autores defendem a aplicação do Histograma para imagens coloridas, decompondo nos respectivos canais RGB (*Red, Green, Blue*) e construindo um Histograma para cada canal de cor. Destaca-se também a utilização dos Histogramas para extrair informações, comparar e identificar padrões, verificar níveis e intensidades luminosas ou de contrastes, sendo assim uma importante ferramenta para julgamento e comparação das imagens (SMITH, 2021).

2.1.1.7.1 Comparando Histogramas

O Histograma de uma imagem traduz de forma gráfica o comportamento das intensidades dos pixels, em certa medida, pode-se afirmar que ao obtermos dois Histogramas iguais ou muito semelhantes, consequentemente as imagens geradoras podem ser classificadas como iguais.

Dentre os métodos de comparação de Histogramas destaca-se o *Correlation comparison*, ou simplesmente o método de Correlação de *Pearson*. A medida de Correlação $d(H1, H2)$ é uma ferramenta matemáticas que determina o grau de interdependência entre duas funções de mesma natureza, sendo utilizadas para comparar dois histogramas $H1$ e $H2$, busca-se expressar nível de similaridade entre os Histogramas (MARQUES FILHO; VIERIA NETO, 1999).

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum I(H_1(I) - \bar{H}_1)(H_2(I) - \bar{H}_2)}{\sqrt{\sum I(H_1(I) - \bar{H}_1)^2 \sum I(H_2(I) - \bar{H}_2)^2}} \quad (5)$$

$$\bar{H}_k = \frac{1}{N} \sum_j H_k(j) \quad (6)$$

Admitindo-se que $-1 < d(H_1, H_2) < 1$, sendo -1 valor para nenhuma correlação e 1 para correlação perfeita entre os Histogramas e N sendo o número total de caixas de Histogramas.

2.1.1.8 Biblioteca para Visão Computacional

Segundo OpenCv.org (2022) um esboço de biblioteca para a aplicação da visão computacional foi divulgado de forma oficial em 1999. Proposto pela *Intel Research* o projeto *OpenCV* tinha como objetivo melhorar aplicações que requeriam uso intensivo em processamento. O escopo do projeto buscava uma evolução nas pesquisas em visão computacional de forma a promover um código para toda comunidade, que além de ser aberto somava tarefas otimizadas em chamadas por funções diretas e simples para programação. Logo a biblioteca *OpenCV* se difundiu entre os estudantes e entusiastas da tecnologia, pois facilitava o acesso com código portáteis, gratuitos e otimizados.

OpenCV (Open Source Computer Vision) atualmente possui mais de 500 funções, podendo ser utilizada em diversas linguagens de programação como: C++, Python, Ruby, Java. Suas principais aplicações são:

- Humano-Computador Interface (HCI);
- Julgamento da qualidade em processos industriais;
- Identificação de objetos;
- Sistema de reconhecimento facial;
- Reconhecimento de movimentos;
- Gravação de vídeos;
- Robôs móveis;
- Reconstrução 3D;
- Realidade virtual;
- Realidade aumentada;
- Realidade mista.

2.1.2 Simulação Computacional de Eventos Discretos

Estando incluída como uma das principais ferramentas e descrita na Tabela 1, o próximo tópico irá evidenciar a ferramenta da Simulação Computacional como instrumento de auxílio a implementação de um novo *layout* industrial, objetivando elevar a eficiência fabril e ofertar segurança para a tomada de decisão da proposta mais adequada para a empresa em estudo.

2.1.2.1 Fundamentos da Simulação

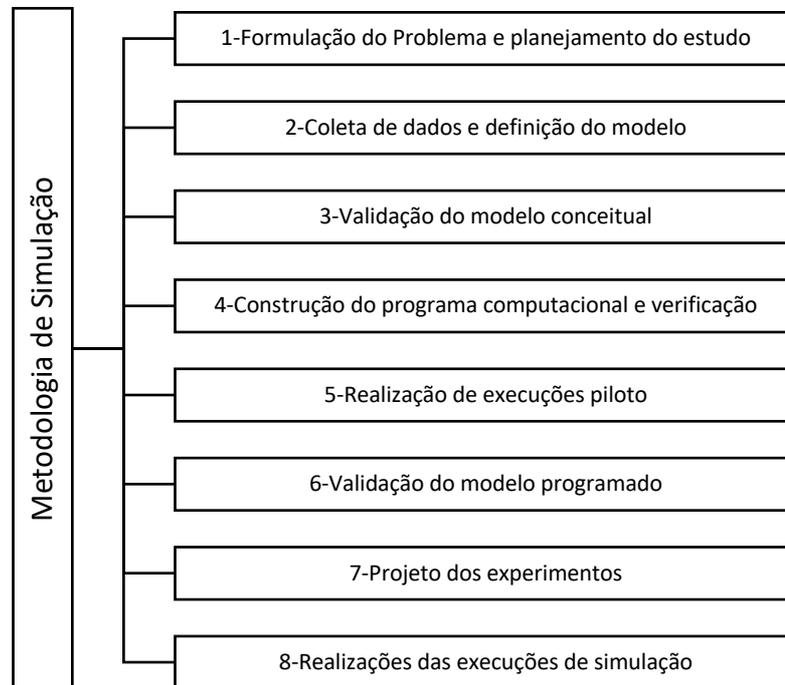
Motivada pelas implementações tecno evolutivas provenientes da Indústria 4.0, o cenário mundial estimula uma forte demanda por planejamento, redução de falhas e/ou riscos além da otimização em processos fabris. Atualmente os gestores e empresário buscam em modelos lógicos uma explosão de cenários para que fomente certa previsibilidade e tomadas de decisões assertivas nos mais diversos níveis de complexidade dos ambientes (POZZEBON. B, 2020).

Neste contexto, o tempo da tomada de decisão se destaca como fator relevante em toda a estratégia do negócio, podendo ser decisivo em ecossistemas de concorrências globais. Dentre as inovações tecnológicas aceleradas pela última revolução industrial destaca-se a simulação computacional, um dos grandes fatores que promoveu rapidamente esta ferramenta foi a redução de tempo de desenvolvimento dos projetos, bem como os custos associados (ABREU *et al.*, 2017).

Técnica que promove a modelagem de cenários em um sistema computacional, a simulação visa representar uma operação ou um processo embarcado por um Software, proporcionando a conversão de informações em conhecimento e gerando oportunidades de melhorias aos processos modelados (CHWIF; MEDINA, 2015)

Para Law & Kelton (2000), por se tratar de uma técnica oriunda da Pesquisa Operacional e apresentar uma certa complexidade, a Simulação utiliza-se do método científico para construir seus resultados. Seu processo de desenvolvimento busca por garantias mínimas que atingem maior fidedignidade possível ao cenário real. Através da metodologia proposta do Fluxograma 2.

Fluxograma 2 - Metodologia da Simulação Computacional



Fonte: Adaptado de Law e Kelton (2000)

Evoluindo em paralelo junto às necessidades dos desenvolvedores, bem como o objetivo de tornar as implementações nos simuladores mais amigáveis, as linguagens e interfaces dos *softwares* hoje contam com diversas funcionalidades que propiciam aos usuários, mesmo com pouco conhecimento em programação, desenvolver modelos robustos. De forma geral, com a utilização de diagrama de blocos, roteirização por flechas e painéis animados, modelos estão sendo construídos e agregando conhecimento às organizações (PARAGON, 2022)

Estudos como o Polenghi *et al.* (2018) detalham três classificações para as implementações de simulação na indústria: *Beginning-Of-Life* (BOL), *Middle-Of-Life* (MOL) e *End-Of-Life* (EOL). Classifica-se como BOL as simulações antes de novas instalações, sendo estas design de sistema, *layout*, projeto do sistema de manuseio de materiais, *Supply Chain* design, desenho de processo e ergonomia. Já MOL, que foi impulsionada pelo aumento do poder computacional, tem como objetivo simular planejamento de operações, programação, controle em tempo real, políticas de operações, gerenciamento da *Supply Chain*, gestão de inventário, gestão da manutenção e compras. O EOL não é muito utilizado devido ao custo/economias, sendo utilizado para fatores de segurança como o descomissionamento

de usinas nucleares.

Como fundamento de uma simulação, a construção de um modelo que represente de forma simplificada a realidade se faz necessário. Neste modelo matemático serão feitos experimentos e análises em busca de ajustes do sistema voltados à atender os objetivos definidos. Um modelo para simulação apresenta as seguintes propriedades: Intenção de representar a totalidade ou parte de um sistema; Possibilidade de ser executado e manipulado; apresenta o tempo ou número de repetições como uma variável; Tem como proposta auxiliar o entendimento do sistema (BARTON, 1970).

Pode-se classificar um modelo inicialmente à medida que ele se comporta no tempo, sendo estático para aqueles que representam um ponto exato no tempo e dinâmico para os que variam o comportamento. Outra tipologia atrelada aos modelos é relacionada a natureza da entrada e do processo de saída entre os estágios do sistema. Nomeados de determinísticos, são aqueles que não contêm variáveis aleatórias, ou seja, apresentam um conjunto de entradas conhecidas para um resultado de conjunto único como saída. Já para situações de entradas com uma ou mais variáveis aleatórias e que resultam em diversas possibilidades de saídas, denomina-se como modelo estocástico (LAW & KELTON, 2000).

Diversos autores, entre eles Law & Kelton (2000), Rocha *et al.* (2010), Polenghi *et al.* (2018), descrevem possíveis aplicabilidades para a Simulação computacional, dentre elas:

- Estudo aprofundado de novos sistemas, objetivando refinamento e melhorias;
- Compreensão de um sistema real, comportamento e correlações entre as operações e impactos no processo;
- Experimentação de cenários, com custos reduzidos de uma aplicação real;
- Validação de ideias ou melhorias em processos;
- Educação e treinamento, como ferramenta de ambientação a novos colaboradores;
- Projetos e análises de sistemas de manufatura;
- Estudos de sistemas dinâmicos em tempo real, acelerado ou extrapolado;
- Método comparativo de soluções analíticas, comparando resultados de diferentes métodos de solução de problemas.

Os mesmos autores destacam que a ferramenta da simulação possibilita a análise de diversos cenários em que a empresa ou unidade de negócio pode enfrentar, somado a isto possibilita aos tomadores de decisão uma visão ampla do sistema e impactos negativos e positivos das ações implementadas, atrelado aos baixos riscos e custos de aplicação de um

modelo computacional.

Grandes da manufatura mundial obtiveram resultados expressivos com a aplicação da simulação: 40% de capacidade de produção em uma das plantas da Exxon Mobil, 48% redução WIP e lead times na FIAT, redução de 33% nos custos produtivos dentro da Boeing, economia de US\$ 20 milhões anuais com uma solução logística (PROMODEL, 2022).

No Brasil, a simulação está presente em inúmeras áreas como: Logística e *Supply Chain* com estudos de dimensionamento de frotas, abastecimento de matéria prima, comparativos de operadores logísticos, distribuição de produtos e outros; Ferrovias com definição da melhor composição da transporte; Siderurgia com as questões de armazenamento e transporte sobre sistemas de correias; Manufatura com dimensionamento de capacidades, mix de produção, balanceamento de linha, análise de arranjo físico, comparativos de células de produção, dimensionamento de mão de obras e mais (PARAGON, 2022).

2.1.2.2 Vantagens e Desvantagens

Autores como BANKS *et al.* (1996), PEGDEN *et al.* (1995), LAW & KELTON (2000), BATEMAN *et al.* (2013) destacam as vantagens principais da implementação de uma simulação computacional, descritas a seguir:

- Processos de modelagem evolutivo: a construção do modelo parte de um projeto simples e à medida que se amplia a complexidade existe a construção do conhecimento para os envolvidos;
- Facilidade de comunicação: uma simulação embaçada por animações e diagramas se torna mais simples de compreensão do que um conjunto de equações matemáticas.
- Flexibilidade: capacidade de ser aplicada em diversos cenários, da manufatura a serviços;
- Modelos mais realistas, a simulação não tem por obrigatoriedade um enquadramento específico do projeto para se obter uma solução;
- Respostas aos “*Whats if?*”, entender as possíveis consequências, correlações e benefícios de modificações das variáveis de um sistema;
- Soluções rápidas, modelos fornecem tomadas de decisões rápidas aos gestores, pois observam diversos cenários em curto intervalo de tempo, gerando vantagens competitivas;
- Visão sistêmica, conhecimento sobre oscilações e alterações do ambiente micro

que impactam o ambiente global do sistema;

- Exploração de possibilidades, dado um modelo de simulação validado, pode-se explorar exaustivamente cenários, procedimentos operacionais, *layouts*, métodos de trabalho, capacidades de operação afim de analisar a performance das mudanças;
- Treinamento de equipes, a partir da visualização as equipes podem identificar pontos de melhorias, bem como desenvolver formas de trabalho que otimizem os resultados;
- Baixo custo, implementar alterações em sistemas de produção e afins desprendem grande capital intelectual e financeiro, podendo ser “testado” previamente com uma Simulação a custos bastante inferiores.

De forma semelhante, alguns desafios da implementação da simulação restringe a aceleração da ferramenta, os mesmos autores citam:

- Mão de obra especializada, requer treinamento para a utilização dos softwares e *expertise* para adequação do mundo real aos parâmetros do modelo;
- Erros de interpretação, os resultados das simulações podem gerar ruídos de interpretação por serem, em sua maioria, variáveis aleatórias;
- Cenários complexos exigem maior conhecimento ao ser implementado, dificultando a modelagem;
- Difícil implementação, os resultados obtidos podem apresentar grande investimento;
- Requer inputs de dados congruentes ao sistema analisado para se obter resultados fidedignos.

Em constante evolução para promover maior aplicabilidade, os softwares em simulação veem sendo reformulados para promover maior rapidez na modelagem, com interface mais amigável e diversos pacotes que facilitam as análises e conclusões. A simulação apresenta-se como uma poderosa fermenta de julgamento para tomada de decisões, mas requer um esforço inicial na metodologia de aplicação com intuito de ofertar aos usuários todos os seus benefícios (VIEIRA, 2006).

2.1.3 Indústria 4.0 no Brasil

Vieira e Franco (2021) citam um levantamento realizado pela FIRJAN o qual apontou a relação da Indústria 4.0 para o Brasil. Na publicação, indica-se que grande parte da indústria

brasileira está transitando entre a segunda e a terceira revoluções industriais, ou seja, entre o uso de linhas de montagem e a aplicação da automação. O setor mais adiantado em relação à Indústria 4.0, segundo a publicação, é o setor automotivo, cujos profissionais estão em constante atualização para atender às demandas.

Pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), no ano de 2016 destacou uma Sondagem Especial sobre a Indústria 4.0 no Brasil. Foram consideradas 10 tecnologias digitais para se obter informações como: adoção dessas tecnologias pelas empresas; objetivos da adoção das tecnologias; importância delas para a competitividade industrial; principais dificuldades para a sua aplicação e outros tópicos relevantes. A constatação de maior relevância foi o baixo conhecimento das empresas sobre a importância das tecnologias digitais para a competitividade. O resultado expressou que 43% não sabem identificar quais tecnologias podem potencializar os seus negócios. Esta taxa sobe para 57% nas pequenas empresas. Já nas grandes organizações, o percentual cai para 32% (POLÍTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL, 2018).

Outro levantamento relacionado com as ferramentas tecnológicas difundidas da Indústria 4.0 foi realizado pelo projeto Indústria 2027. Parceria da CNI com a Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade de Campinas. Uma pesquisa de campo realizada em outubro de 2017, mapeou que dos 759 estabelecimentos industriais visitados, apenas 1,6% das empresas enquadram-se na 4ª geração industrial. A mesma pesquisa afirma que 77,8% das empresas encontram-se nas 1ª e 2ª gerações, não tendo ainda alcançado a 3ª geração, equivalente à Produção Integrada, com uso de tecnologias da informação e automações. O dado mais relevante é que 75% das empresas estão nos estágios iniciais do que seria a digitalização da indústria (POLÍTICAS PARA O DESENVOLVIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL, 2018).

Alguns desafios impedem o avanço e intensificação da Indústria 4.0 no Brasil, como: a construção de políticas estratégicas, incentivos governamentais; a reunião de empresários e gestores com postura proativa; e o desenvolvimento tecnológico e formação de profissionais, próximos à indústria (FIRJAN, 2016).

Para a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2021) a aproximação do Brasil com a Indústria 4.0 deve ser feita através de cinco eixos de atuação: (1) criação de um programa brasileiro de manufatura avançada; (2) busca de acordos bilaterais com Alemanha; (3) engajamento entre as empresas; (4) criação de uma rede de testes e implementações; (5) criação de linhas de crédito e fomento. Os desafios desta revolução industrial no Brasil são semelhantes quando comparados a outras nações emergentes, o foco

maior de algumas políticas públicas na produção de *comodity* como soja, milho, café e outros retardam os investimentos nos setores secundários da economia, ficando sobre grande responsabilidade dos empresários e das grandes empresas multinacionais promoverem esta atualização.

2.2 *Layout Industrial*

2.2.1 Problemática do *Layout*

Lee (1998 apud Luzzi, 2004) afirma que a estratégia operacional costuma determinar a competitividade e o desempenho final da organização, e refere-se à filosofia que orienta o processo produtivo. Através da estratégia adotada, evidencia-se o foco da organização, de forma a estabelecer critérios como produto, processo, localização geográfica e mercado, fundamentando a escolha do tipo de *layout* ideal.

Cada processo produtivo possui suas particularidades, por isso, cada tipo de *layout* apresenta vantagens e desvantagens distintas. Desta forma, faz-se necessário uma análise que vise definir qual tipo de *layout* se adequa melhor aos critérios pré-estabelecidos pela organização.

Devido a crescente flexibilidade no mix de produção, e variação na demanda, em alguns casos, torna-se impraticável a utilização de apenas um tipo de *layout* para todo o processo produtivo. Então a combinação de tipos de *layout* pode ser considerada. (FIGUEIREDO, 2016)

Dentro das discussões sobre *layout*, existem estudos, como os realizados por Yang (2003), Chen (2002) e Wang e *et al* (2021), que utilizam algoritmos e técnicas matemáticas para resolução de problemas de *layout* com múltiplos objetivos. Contudo, Black (1998 apud Figueiredo, 2016) comenta que abordagens matemáticas não levam em consideração o elemento qualitativo presente na definição do arranjo físico, como exemplo são fatores de segurança, estética e sensação dos funcionários. Portanto, a decisão do tipo de *layout* a ser utilizado, não é uma definição isolada, deve-se considerar fatores que relacionam os tipos de processos de produção, volumes e diversificação de itens bem como a segurança e o bem estar dos funcionários.

Um bom arranjo físico fomenta um parque industrial competitivo, com ganhos significativos em segurança, performance dos processos, segurança e redução nos custos de fabricação. De acordo com as estatísticas de Tompkins *et al.* (2010), a movimentação de materiais participa com cerca de 20% a 50% dos custos operacionais. Desta maneira, uma

disposição inteligente permite uma economia de até 30% deste custo.

2.2.2 Múltiplos Objetivos na Definição do *Layout*

Apesar de sua importância, a escolha adequada da disposição das instalações requer um processo complexo e iterativo. Durante o planejamento e construção do arranjo físico fabril deve-se englobar variados objetivos, que por momentos, se tornam concorrentes na execução do projeto, tornando a tomada de decisão exaustiva (GONÇALVES *et al.*,2015).

Em sua construção, o projeto de um novo *layout* deve promover a harmonia entre a maximização da produção junto a economia de espaço, adequação a normas e padrões de operação, redução da movimentação de matérias, satisfação do trabalhador, forçando a utilização máxima de todos os recursos. Para tal, se faz necessário que os maquinários e equipamentos estejam bem dispostos, todos os processos estejam mapeados e roteirizados, além dos materiais inseridos em operações de fluxo contínuo (PABLO *et al.*,2021).

Oliveira (2011) destaca os seguintes pontos como principais objetivos para o desenvolvimento deste projeto:

- 1) Flexibilizar as operações;
- 2) Diminuir o custo de transporte do material;
- 3) Minimizar o tempo de produção;
- 4) Proporcionar máxima utilização da área disponível;
- 5) Proporcionar redução de fadiga dos colaboradores no desempenho das atividades;
- 6) Proporcionar um fluxo de comunicação sem ruídos entre as operações;
- 7) Otimizar a utilização de todos os recursos;
- 8) Tornar o fluxo de produção coerente à estratégia do negócio;
- 9) Fornecer espaço para uma futura aquisição de equipamento ou ampliação de capacidade;
- 10) Fomentar segurança e sensação de bem estar aos trabalhadores.
- 11) Aumento de produtividade.
- 12) Aumento de índices de qualidade do produto.

Definir um modelo que atenda tais objetivos se torna desafiador e vem sendo discutido desde a metade do século XX no meio acadêmico. Isto ocorre devido a evolução constante dos modelos de produção, onde, atualmente muitos gestores buscam se adaptar a quarta revolução industrial, que força a implementação de sistemas ciber físicos, plantas com altos investimentos tecnológicos e uma demanda cada vez maior por lotes menores e customizáveis

(ZHUMA *et al.*, 2021).

Outros estudos, como os de Anjos e Vieira (2017); Alves *et al.*, (2016); Saraswat, Venkatadri e Castillo (2015) retratam a utilização de Programação Matemática, simulação de Monte Carlo além de heurísticas para solucionar o problema de seleção do arranjo físico. (GOSENDE *et al.*, 2021)

Partindo para uma abordagem mais clássica, utilizando da classificação em quatro tipos principais de *layout*: por Produto, Celular, do tipo Funcional e Posicional, outro formato de seleção se constrói baseado na relação volume e variedade do mix, conduzindo a uma implementação híbrida em que o gestor executa adaptações pela sua *expertise* do processo (SLACK, 2008).

2.2.3 *Systematic Layout Planning* (SLP)

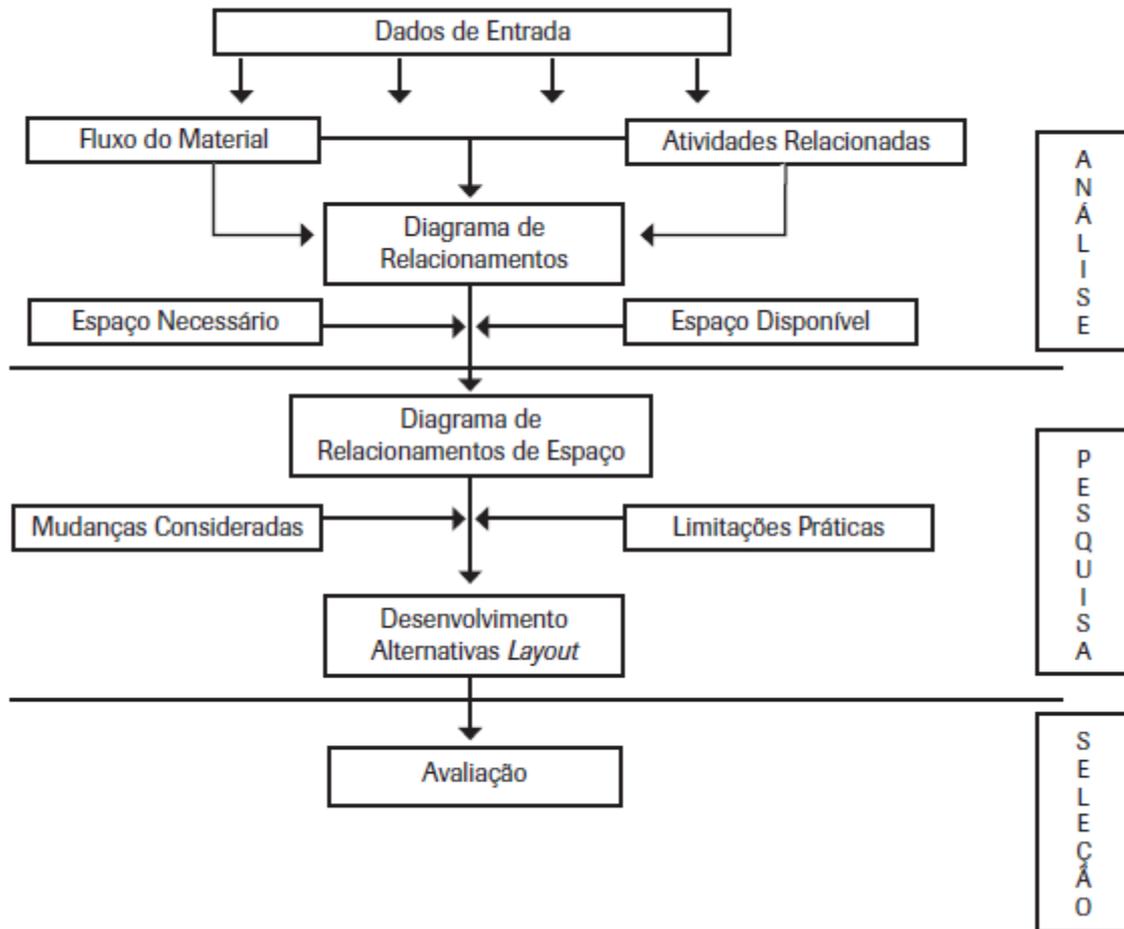
Muther em 1978 desenvolveu um sistema com objetivo de auxiliar a determinação do melhor projeto de *layout*, onde propôs o *systematic layout planning* (SLP). O método do SLP é dividido por três fases, representado no Fluxograma 3. A fase inicial, denominada Análise, compromete-se com a avaliação do fluxo de materiais, onde todos os fluxos são mapeados e descritos em um formato “De-Para”, os quais representam a intensidade de aproximação entre os diferentes departamentos (YANG *et al.*, 2000).

Esta Análise se caracteriza por cinco pilares: Produto (P), Quantidade (Q), Roteiro (R), Serviços de suporte (S) e Tempo (T), que buscam levantar dados a cada pilar e verificar todas as interações dentro da planta fabril, através destes dados e de suas distâncias entre as operações de origem e destino o modelo conduz para uma seleção de *layout* mais adequada (KHARIWAL *et al.*, 2021).

Contido ainda na etapa de Análise, está o levantamento entre o espaço necessário e espaço disponível. Neste momento determina-se a porção do espaço fabril reservado a cada etapa de operação. Este é um ponto crítico ao planejamento do novo *layout*, visto que deve contemplar futuras expansões (MUTHER *et al.*, 2000).

A partir da análise, inicia-se a fase de Planejamento, onde desenvolve-se o diagrama de relacionamento com a carta de interligações preferenciais, nos quais avaliam-se as atividades em julgamentos qualitativos pareados, etapa importante para definir a proximidade entre os setores. Na sequência, obtém-se inicialmente um arranjo físico ideal, posteriormente apresenta-se o arranjo físico realístico, adequando o *layout* ideal às restrições impostas, seja pelas peculiaridades do processo, seja pelas limitações da unidade de negócio (KHARIWAL *et al.*, 2021).

Fluxograma 3 - Metodologia SLP



Fonte: Adaptado de Tompkins *et al* (1996)

Após a construção do *layout*, inicia-se a fase de Seleção, em que o *layout* passe por uma avaliação de viabilidade e aprovação entre os departamentos envolvidos. Os stakeholders irão decidir e aprovar a nova proposta de arranjo físico, desenvolvendo uma avaliação entre os benefícios da modificação junto aos custos de implementação.

2.2.4 Tipos de *Layout* Industrial

Segundo Slack (2016) o *layout* de um processo produtivo deve distribuir os recursos de forma a otimizar a utilização. Somado às interações de movimentação de materiais, pessoas e produtos nas operações. A seleção do arranjo físico ideal deve ser guiada pela correlação dos fatores de diversificação e volume de produção. Sobre a ótica de Lee (1998 apud Luzzi, 2004) o *layout* de uma fábrica é produto de milhares de decisões passadas e presentes, é a demonstração física da estratégia de produção da empresa.

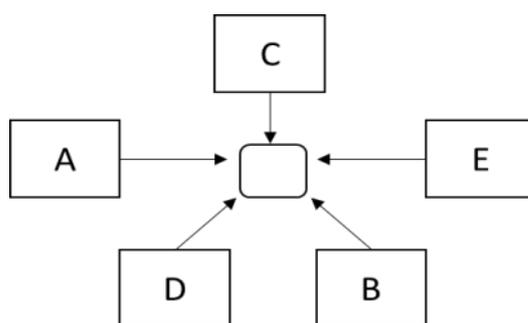
Em complementaridade Gaither (2002) afirma que a adequação do arranjo físico ao

modelo de processo potencializa aspectos como a otimização da capacidade de produção, reduz os custos de transporte de materiais, melhora adaptabilidade ao espaço físico disponível, eleva a utilização dos recursos e produtividade, fornece flexibilidade de volume e produto, além de garantir maior segurança e confiabilidade às operações bem como uma redução dos *lead times* (MUTHER *et al.*, 2000).

2.2.4.1 *Layout Fixo (Project Shop)*

Neumann & Scalice (2015) detalham o *layout* posicional como *layout* fixo ou *project shop*, classificando como uma proposta mais básica, normalmente aplicado em produções que geram itens de dimensões muito grandes. Dentre suas características se destaca o posicionamento fixo do produto enquanto os recursos se movimentam para converter e finalizar a produção.

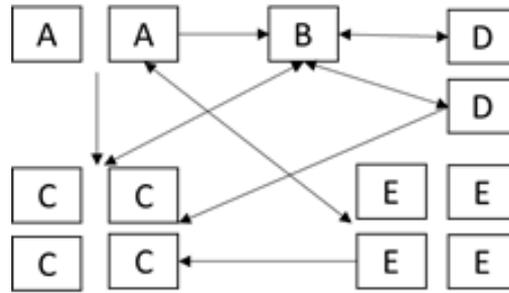
Figura 9 – *Layout* do tipo *project shop*



Fonte: adaptado de Neumann & Scalice (2015)

2.2.4.2 *Layout Funcional (Job Shop)*

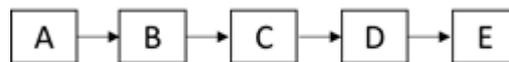
Sobre o *layout* por Processo Neumann & Scalice (2015) reforçam que este tipo também pode ser conhecido como *layout* funcional ou *job shop*, neste tipo de *layout* utiliza-se do critério de agrupamento do maquinário no chão de fábrica por similaridade da função, unidos pelo processo o qual eles desempenham. Os percursos de cada item no processo podem variar conforme as características finais do produto, permitindo uma maior oferta de mix, a problemática está na gestão da distribuição dos pedidos e priorização de processamentos no chão de fábrica.

Figura 10 – *Layout* do tipo *job shop*

Fonte: adaptado de Neumann & Scalice (2015)

2.2.4.3 *Layout em Linha (Flow Shop)*

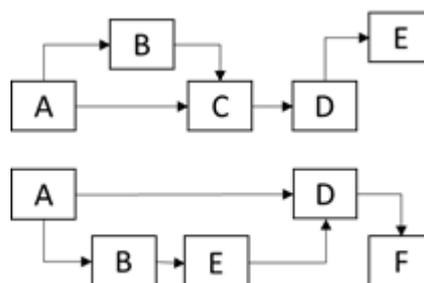
Na definição de Slack, Chambers & Johnston (2018) o *layout* por produto seria o mais indicado para linhas de montagem, pois carrega como principal característica o posicionamento fixo das máquinas de acordo com a sequência de operações a serem realizadas. Objetiva-se com este arranjo uma maior fluidez do produto na linha onde a cada etapa agrega elementos ao produto final. Como grande desafio está a menor variabilidade e os setups de máquina.

Figura 11 - *Layout* do tipo *flow shop*

Fonte: adaptado de Chambers & Johnston (2009)

2.2.4.4 *Layout Celular*

SLACK *et al.* (2018) define o *layout* celular como aquele em que os recursos transformados são pré-selecionados para movimentar-se em uma parte específica da operação, destinando-se à célula de produção na qual apresenta recursos suficientes para finalizar a produção do item.

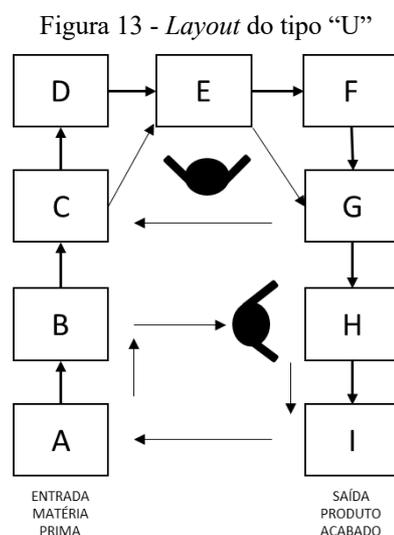
Figura 12 - *Layout* do tipo celular

Fonte: adaptado de Slack *et al.*, (2016)

2.2.4.5 Layout Tipo U

Desenvolvido com objetivo de reduzir as perdas por transporte e altos estoques dentro das operações, o *layout* tipo “U” foi desenhado no Sistema Toyota de Produção, onde sua característica principal se relacionou ao fato de aproximar a entrada e saída do fluxo de material. Na disposição dos processos em formato de “U”, promove-se a flexibilização da linha, estimulando a polivalência, pois os mesmos executam suas atividades em movimento e deslocam-se entre os postos de trabalho de acordo com o fluxo de produção a fim de balancear o processo produtivo. (JACOBS; CHASE; SOUZA, 2009)

Para Shingo (1996), este modelo de *layout* apresenta inúmeras vantagens das quais envolve: a redução dos tempos de Setup, trocas de ferramentas e informações rápidas entre os colaboradores, otimização dos transportes de materiais, maior agilidade no *feedback* relacionado à qualidade em busca de reduzir defeitos nas linhas, reduz-se ou elimina-se a espera por lote ou de processo e por consequência direta dessas vantagens os estoques em processamento são reduzidos bem como o custo final unitário da produção do item acabado.



Fonte: adaptado de Shingo (1996)

Neste sistema de disposição física industrial pode-se extrair um maior desempenho operacional, pois pode-se alocar recursos flexibilizando e modelando pela demanda. Do ponto de vista da saúde do colaborador a polivalência fornece uma redução na repetibilidade das atividades, promovendo um ambiente de trabalho com maior bem estar e menores índices de afastamento por LER/DORT, respectivamente a Lesão por Esforço Repetitivo e Distúrbio Osteomuscular Relacionado ao Trabalho. (LEMOS; FLOGLIATTO, 2003)

2.2.4.6 *Layout Híbrido*

Como a própria nomenclatura sugere e também chamado de *layout* misto, este é o resultado da combinação de mais de um tipo de *layout* em uma única unidade de produção. Motivado pela crescente necessidade de customização dos produtos e demanda variável, o *layout* híbrido busca adequar cada etapa da planta industrial às estratégias do modelo de negócio visando usufruir das vantagens e otimização proporcionadas por cada tipo (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).



Fonte: adaptado de Slack *et al* (2016)

2.2.5 Estratégia de Produção Alinhada ao *Layout*

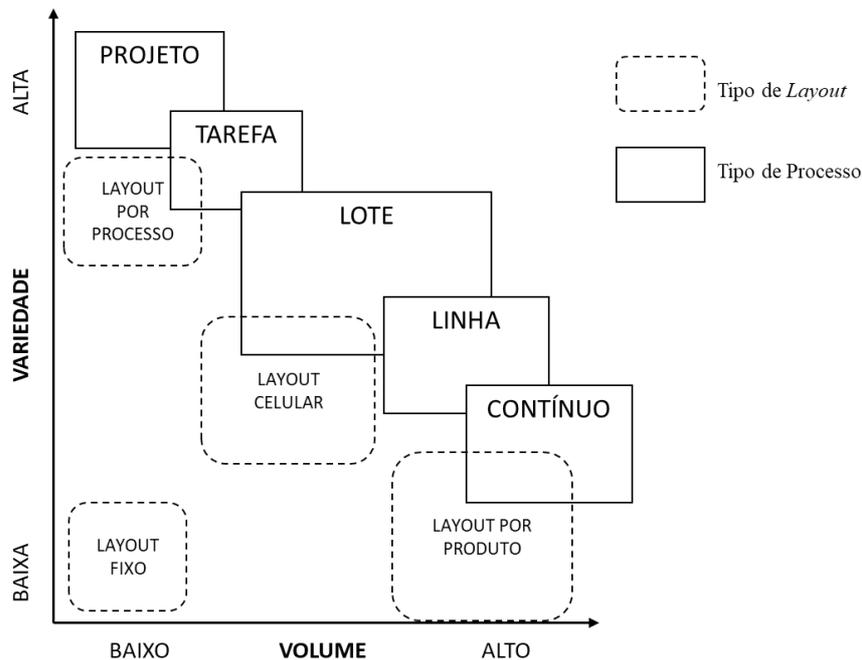
Para HERMANN *et al*; (2016) a Estratégia de Produção evoluiu a fim de unir as necessidades de mercado à eficiência nos processos. Iniciado através da primeira revolução industrial no final do séc. XVIII, evento que definiu a transição dos métodos de produção artesanais para processos de produção mecanizados, posteriormente com a implantação dos estudos e da padronização do trabalho de Taylor e Ford. Adaptou-se mais adiante com o desenvolvimento do difundido sistema enxuto de produção, hoje com a disponibilidade de diversas ferramentas tecnológicas e de um cenário em que há uma procura cada vez maior por produtos personalizados existe a ascensão da forma 4.0 de se produzir.

O modelo de produção definido pela organização deve guiar todas as ações focadas para a implantação, manutenção e perenidade do negócio. Questionamentos iniciais devem ser feitos com intuito de modelar toda a cadeia de operações em busca de um processo com custos baixos, alta produtividade e que atenda o nicho em que está inserido (SLACK *et al.*, 2018).

Inserido nestas ações de implementação das operações, o *layout* apresenta um impacto

significativo na performance do sistema de manufatura, diretamente atrelado com o resultado dos indicadores da empresa e decisivo na perpetuidade do negócio. A seleção ou modificações no *layout* influencia o formato de priorização das operações, facilita os fluxos de materiais e informações, podendo otimizar a utilização dos recursos e promover assim a eficiência nos processos. Outros pontos são fortemente destacados que relacionam os riscos de acidentes do trabalho, saúde e bem estar dos funcionários e comunicação rápida entre as áreas envolvidas. (LUZZI, 2004).

Figura 14 - Tipo de *layout* industrial adequado a estratégia de produção



Fonte: adaptado de Slack *et al* (2009)

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2018), na busca por categorizar as operações de bens e serviços utilizam-se do critério relação de volume e variedade do produto ou serviço produzido. Em operações que exigem alto grau de customização o volume de produção é menor, partindo desta lógica cabe ao modelo adotado pela empresa alinhar sua estratégia de negócio ao formato do processo de produção.

Cada sistema de manufatura apresenta características específicas nos desdobramentos dos processos de produção, dentre os quais devem ser classificados entre cinco tipos clássicos: processos de projeto, processos por tarefa ou *jobbing*, processos em lotes ou bateladas, processos em linha ou de produção em massa do tipo repetitivo e processos contínuos. (CORRÊA, 2012).

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2018), o processo por projeto produz itens

discretos e customizados, apresenta como principais características o baixo volume e alta variedade, normalmente o produto fabricado é único. Já os tipos de processo por tarefa apresentam o aspecto de produção por encomenda ou *Make to order*, alguns recursos são compartilhados e apresentam alta variedade e baixo volume.

Para Ritzman e Krajewski (2009) o modelo de produção por lote se diferencia por volumes maiores que os anteriores e um nível limitado de diversificação, processando bateladas de itens com semelhanças nas operações, reduzindo assim o custo unitário. Uma outra visão de operação está no processo em linha, neste modelo o recurso é transformado à medida que avança nas operações e tem como principais características volumes maiores e um menor grau de customização, bem como a produção do item independente da chegada da ordem de produção.

Sobre a ótica mais extrema, com altos volumes de produção e menor flexibilidade em diversificação, está o processo de fluxo contínuo, neste as operações não apresentam a obrigatoriedade de seguir um fluxo único, o processo geralmente é de capital intensivo e operado 24 horas por dia, o objetivo está em maximizar a utilização e reduzir a interrupções e reinícios de produção (MOREIRA, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Método de Trabalho

Detalhando as características do método de pesquisa deste estudo obtêm-se como classificação quanto à abordagem a de pesquisa qualitativa e quantitativa, entende-se que não existe uma completa generalização dos resultados, porém busca obter ganhos com a implementação do novo *layout* e desenvolvimento do sistema de inspeção. Quanto a sua natureza descreve-se como pesquisa do tipo aplicada e exploratória, por desenvolver soluções práticas que atendam às necessidades levantadas pela empresa.

Este estudo segue as etapas proposta por Alves *et al* (2019) em que se inicia a partir da análise do processo produtivo, acompanhamento *in loco* e de entrevistas não estruturadas aplicadas aos envolvidos com a produção, gestão e direção da empresa. Em seguida, é desenvolvido uma descrição da empresa englobando origem e características da cultura organizacional.

Posteriormente, é realizado um levantamento das necessidades da organização, visando atender os objetivos traçados em seu planejamento estratégico. A partir destes pontos surgiram demandas motivadoras para a construção do presente trabalho bem como a busca por pertinentes bibliografias que envolvessem os aspectos de ferramentas tecnológicas que promovam a melhoria do processo fabril.

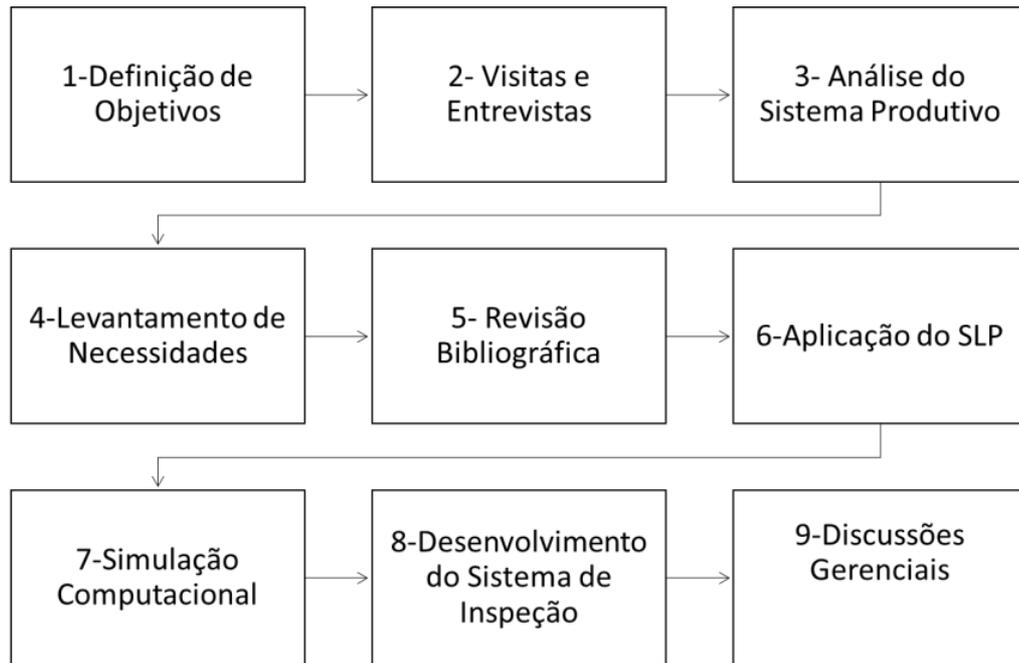
Em seguida realizou-se um levantamento do cenário atual do processo produtivo da organização, destacando seu sistema de produção, fluxograma e descrição das etapas de operação. Logo após foi definido o método de construção e definição para o novo *layout*, utilizando o modelo *Systematic layout planning* (SLP), o qual contempla três fases que incluem análise do *layout* atual, pesquisa para levantamento de restrições e possíveis opções de *layout* e a fase de seleção. Neste estudo, a Simulação de eventos discretos foi aplicada para mensurar os ganhos da nova proposta de *layout* e fornecer aos decisores uma maior segurança, o que levou a implementação real na empresa estudada.

Na busca por desenvolver e solucionar um dos demais pontos citados como necessidade da organização, buscou-se desenvolver um sistema de visão de máquina, com baixo custo, utilizando um *Raspberry PI4* de unidade processadora e uma webcam como ferramenta de aquisição de imagens. Logo após, o código foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação *python 3* e usufruindo da biblioteca de visão de máquina, *Opencv*. A lógica de avaliação e julgamento foi criada para inspecionar itens em processamento do setor que apresentou historicamente os maiores índices de perdas na

empresa.

De posse de todos os resultados esperados após a implementação das ferramentas propostas, o estudo finda em uma discussão gerencial com outras oportunidades de aplicação e novas opções de estudos a serem desenvolvidos. Todo o percurso delineado por este método de trabalho pode ser visualizado na Fluxograma 4.

Fluxograma 4 - Etapas do método de trabalho

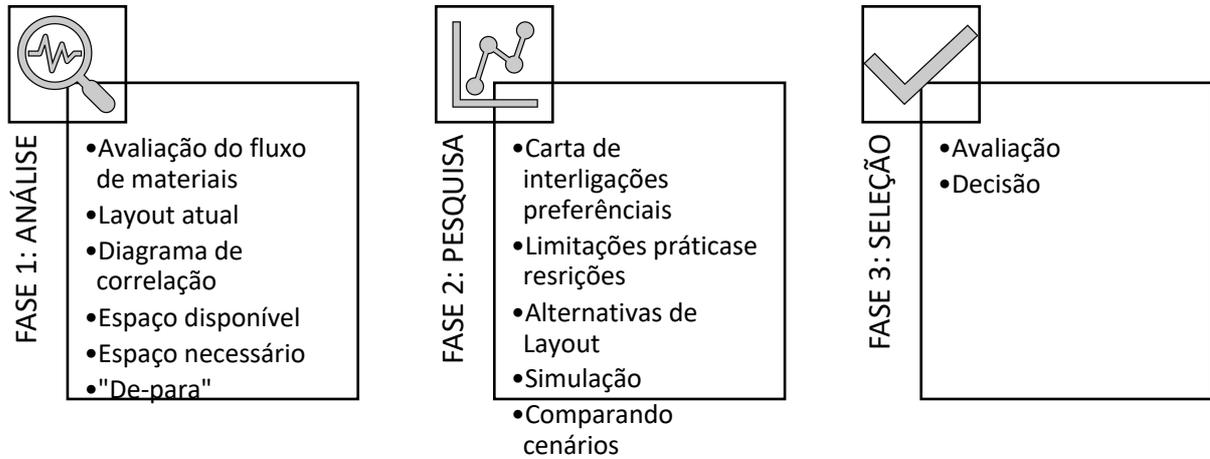


Fonte: O Autor (2022)

3.2 Etapas do *Systematic Layout Planning*

Uma proposta com intuito de solucionar as necessidades da organização que este estudo propõe está na mudança do arranjo físico, utilizando da metodologia descrita no referencial teórico da ferramenta SLP, as três fases do modelo e seus respectivos desdobramentos em subfases foram sumarizadas na imagem a seguir:

Figura 15 - Fases da implementação do SLP



Fonte: Adaptado de Tompkins *et al.* (1996)

3.3 Descrição da Empresa

A empresa localizada no agreste pernambucano atuante no mercado desde a década de 1980, possui uma gestão familiar e hoje a segunda geração da família dirige a organização. Durante toda sua história houveram diversas modificações como: operações que foram adicionadas e/ou removidas, produtos inseridos e/ou descontinuados no portfólio, galpões construídos. As diversas ações tomadas foram promovidas por adequações às novas necessidades de demanda, fato este que conduz as tomadas de decisão da empresa, onde o foco no cliente e na qualidade dos produtos são fatores primordiais desde a sua criação.

Dentre os produtos principais destacam-se as embalagens plásticas, altamente customizáveis em questões de: dimensões; cores; espessuras e imagem impressa. A organização atende ao mercado com um *lead time* de até 30 dias, diferencial dentro o nicho. O formato do empreendimento é do tipo *B2B (Business to Business)* ou, empresas que atendem outras empresas. O nicho de clientes é composto por empresas do ramo alimentício, setor de construção civil, distribuidoras, setor agrícola além de outras indústrias.

Dentro do portfólio de clientes a empresa consta com grandes *players* do mercado da região nordeste, além de pequenas e médias empresas que compactuam da qualidade como filosofia de diferenciação. Outro ponto relevante da empresa em estudo está em sua localização geográfica, às margens da BR 232, promovendo fácil e rápido acesso as rotas entre o litoral e interiorização para outros estados do Nordeste.

Ainda sobre características gerais da organização, evidencia-se o sistema de departamentalização, onde existe uma hierarquia bem definida com organogramas gerais e setoriais, tudo isso voltado a promoção de uma cultura forte da qualidade e autonomia para os

colaboradores.

3.4 Seleção do *Hardware*

Partindo para uma lista de equipamentos necessários para a construção do sistema de Visão Computacional identificou-se inicialmente as restrições de custo e espaço disponível, sendo um teto orçamentário de dois mil reais e espaço que se limitasse a estrutura da máquina. A partir destes pontos foram adquiridos os seguintes equipamentos:

- a) *Raspberry Pi 4* model B com 8Gb de memória RAM e processador *quad-core* Cortex A72 de 1,5GHz como unidade processadora, equipamento de baixo custo, utiliza um sistema operacional Linux® e foi desenvolvido para estimular e facilitar a aplicação dos mais diversos códigos de programação.

Fotografia 3 - *Raspberry Pi 4*



Fonte: O Autor (2022)

- b) Teclado e mouses sem fio da marca Logitech modelo MK235, permitem mobilidade e maior vida útil das funcionalidades.

Fotografia 4 - Acessórios para o sistema



Fonte: O Autor (2022)

- c) Webcam como dispositivo para aquisição de imagens da marca KFF Full HD 1080p.

Fotografia 5 - Aparelho para aquisição de imagem



Fonte: O Autor (2022)

- d) Outros acessórios como fontes de alimentação 12v, cabo HDMI e cartões de memória do tipo SSD classe 10 foram adquiridos.

Fotografia 6 - Fonte de alimentação para o *hardware*



Fonte: O Autor (2022)

- e) Monitor de 17" da marca AOC Full HD e respectivo suporte articulável.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Levantamento das Necessidades da Organização e Motivação para o Estudo

As demandas advindas da empresa que norteiam este estudo germinaram após a definição do Planejamento Estratégico para o Triênio 2020-2023. Tendo como início do desenvolvimento deste estudo em janeiro de 2021 até sua finalização em maio de 2022.

Um ponto a ser destacado está na visão definida pela empresa, considerada como alinhada ao posicionamento e exigências do mercado. Definida como a busca por se tornar a referência regional. A partir de um estudo mercadológico e percepção do posicionamento estratégico da organização, foram destacados pontos que servirão de fomento para o alcance desta visão. Dentre os pontos mais citados, está a qualidade dos produtos como um fator prioritário de decisão para os clientes neste ramo de mercado, tal fato se potencializou devido as alterações ocasionadas pelo cenário pandêmico, o qual elevou demasiadamente os preços de insumos derivados do petróleo, bem como marcados a mercado pela cotação do dólar.

Por meio disto, as empresas que buscam adquirir embalagens plásticas para seus produtos necessitam muito mais do que embalagens resistentes, mas sim, receber lotes com poucas ou nenhuma falha, objetivando um aproveitamento quase que total deste insumo, já que se encontra com preço elevado.

O formato atual do sistema da qualidade da empresa conta com pontos de inspeção das especificações técnicas do produto entre etapas, porém a checagem neste formato obtém uma análise do passado, dado que a produção consiste em pequenos lotes e que serão analisados apenas a posterior produção da etapa. Desta forma, lotes inteiros podem ser reprovados devido a ocorrências de não conformidades. A partir disto, surge a necessidade de aprimorar o sistema de inspeção da qualidade visando uma maior confiabilidade dos produtos e redução nos custos de perda de todos os possíveis lotes reprovados, desenvolvendo um formato de inspeção durante o processamento dos lotes.

Ao analisar o processo de produção, bem como elencar os objetivos estratégicos da empresa, pode-se observar os pontos principais que conduzirão este estudo a fim solucionar esses desafios. Os fatores prioritários desta organização são:

1. Cultura de excelência da qualidade;
2. Processo flexível e adaptado as customizações da demanda;
3. Promover um *layout* alinhado à estratégia do negócio;
4. Redução de desperdícios;

Prioritariamente os gestores e diretores da organização visam a curto e médio prazo

uma ampliação de capacidade devido ao ganho gradual de *market share*, logo buscam aprimorar o sistema da qualidade da empresa bem como preparar o chão de fábrica para a chegada de novos equipamentos e implementação de novos turnos de trabalho, tudo isto ligado a uma redução de desperdícios e otimização do fluxo produtivo.

4.2 Implementação do SLP

4.2.1 Fase 1: Análise do SLP

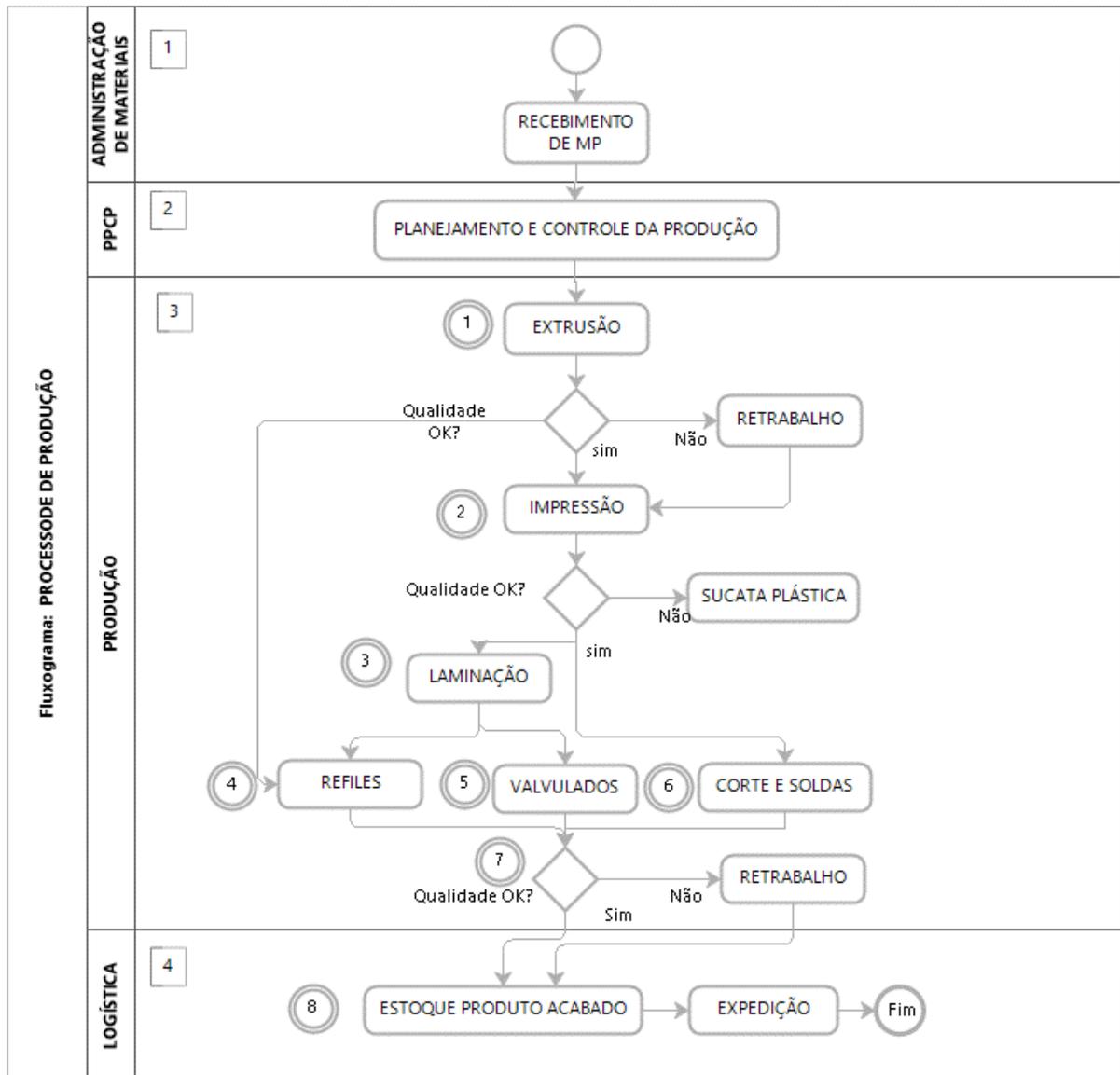
O conjunto inicial de tarefas consiste na coleta de informações, tanto qualitativa quanto de forma quantitativa. A partir do método de observação das operações da empresa, bem como diálogo com o atual gestor pode-se elencar informações sobre: família de produtos ofertados, quantidades médias, rotas de processamento, sistema de suporte fornecido para a empresa bem como o ofertado aos clientes e tempos de processamentos entre as etapas. Estes levantamentos serão *inputs* para as análises a seguir.

Para a construção da Análise de fluxos de matérias foi utilizado uma separação em duas etapas: a primeira sendo responsável pelo fluxo de toda a planta industrial, contemplando do recebimento da matéria prima até a armazenagem do produto acabado além das características do processo produtivo, já segunda considerou o fluxo externo de materiais, com o sistema de distribuição e origem das matérias primas.

A análise do processo permitiu observar que o modelo de produção atual apresenta características da Produção Puxada no formato híbrido Kanban e Conwip, devido ao alto grau de customização dos itens e a presença do departamento de programação da produção que busca ajustar o mix ideal para ampliar a utilização dos recursos transformadores e atender toda a demanda no prazo estipulado.

Detalhando o processo, as operações são disparadas a partir da solicitação e recebimento do cartão Kanban, advindas da etapa posterior. Nesta empresa utiliza-se do modelo OP (Ordem de Produção) para carregar as informações e especificações pertinentes ao produto por toda a produção. O processamento apresenta características semelhantes ao processo por lotes ou bateladas, dimensionando o lote em bobinas plásticas de aproximadamente 300 kg, montante este definido como lote mínimo. O fluxograma do processo de produção é detalhado no Fluxograma 5 e suas etapas, bem como as principais peculiaridades.

Fluxograma 5 - Fluxograma do processo de produção



Fonte: O Autor (2022)

O Fluxograma 5 descreve o processo de produção da organização onde encontra-se a divisão por etapas, a empresa adotou o critério de similaridade das operações para classificá-las. A etapa inicial contempla o setor de Extrusão, onde as resinas plásticas são homogeneizadas por meio de altas temperaturas a fim de formar bobinas plásticas. Posteriormente segue para as Etapas de Impressão e Laminação, caracterizadas por colorir as bobinas plásticas dando vida a embalagem do cliente, nesta etapa é onde encontra-se o maior nível de customização. Logo em diante, os itens destinam-se à última etapa, nomeada como Acabamento que engloba as operações de Refiles, Valvulados e Corte/Soldas, nesta etapa as bobinas plásticas são convertidas e dimensionadas para o produto final conforme as especificações do pedido, como exemplo são sacos plásticos diversos, filmes para

equipamentos de empacotamento automático e sacos para construção civil.

Conforme pode-se observar na Fluxograma 5, além do já discutido sobre a cultura organizacional voltado à qualidade, durante o processo de produção existe a verificação dos parâmetros de qualidade dos produtos pelo operador responsável. Somado a isto, uma conferência mais robusta através do setor da qualidade é executada ao término de cada etapa, onde os produtos que não se adequarem são retrabalhados ou descartados.

Após o término da produção, os itens são armazenados e aguardam os trâmites logísticos como: roteirização, faturamento, separação de carga e transporte. O Setor de logística participa ativamente das movimentações iniciando o processo com o abastecimento de matéria prima e finalizando na entrega das embalagens aos clientes.

Pode-se inferir da análise obtida no Fluxograma 5 que o fluxo de materiais percorre as etapas de produção de forma crescente. Um ponto relevante está no direcionamento de mais de 90% dos custos de matéria prima alocados na etapa 1, referentes aos polímeros plásticos do tipo Polietileno de baixa e alta densidade. Os demais são divididos em 8% para a etapa 2 e os 2% restantes nas demais etapas.

Na análise do fluxo externo de materiais o estudo buscou entender a movimentação nos arredores da planta, quais modais de transporte eram mais utilizados e qual a frequência de abastecimento dos insumos. Verificou-se que o modal mais utilizado para o recebimento das matérias primas era o do tipo rodoviário, com recebimentos programados semanais, em caminhões carretas simples do tipo *siders* com abertura lateral, peculiaridade que não permite a utilização de docas. Já para os produtos acabados, a saída da empresa se dava por meio exclusivamente rodoviário, com utilização de caminhões do tipo Toco (capacidade máxima de 5 toneladas) ou caminhões *truck* (capacidade máxima de 11 toneladas), sendo abastecidos pela traseira, ou seja, requer utilização de docas para facilitar a carga ou descarga.

Planta 2 - *Layout* atual

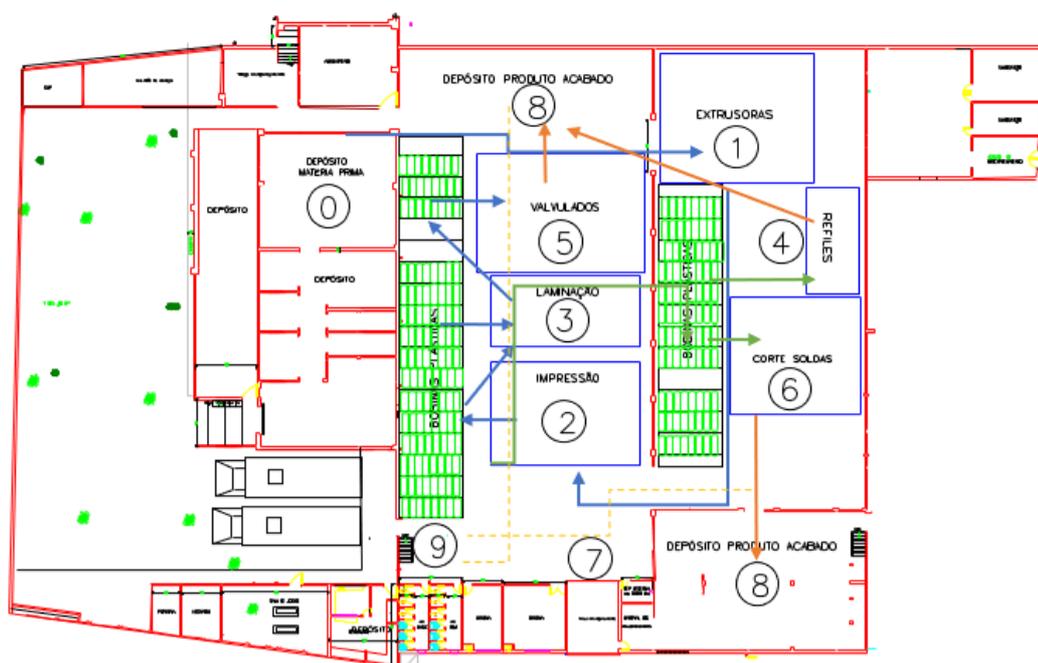
Fonte: O Autor (2022)

Através do diagnóstico do arranjo físico pode-se verificar um modelo de *layout* por Processo flexibilizado onde a disposição dos maquinários foi alocada de forma empírica, utilizando-se de algumas premissas como proximidade ao sistema de fornecimento de energia, disponibilidade de ductos do sistema de ar comprimido, facilidade de alocação do equipamento ao espaço físico e similaridade de operações.

Analisando as operações 4, 5 e 6 pertencentes ao setor de Acabamento, encontram-se duas possíveis melhorias: o posicionamento das bobinas insumos que são disponibilizadas na ordem oposta de produção, ou seja, as bobinas do próximo pedido estão sobrepondo as do pedido atual. A segunda está no posicionamento do maquinário, todos os equipamentos geram o produto acabado no sentido e bem próximos da parede.

Dentre as diversas consequências do *layout* atual, destacam-se a indisponibilidade de espaços para aquisição de novos equipamentos, inexistência de área delimitada de circulação da empilhadeira, entrada e saída de colaboradores em espaço simultâneo à expedição, perdas operacionais por movimentações de bobinas acrescido da baixa sensação de segurança para os colaboradores.

Planta 3 - Relacionamento das etapas de produção



Fonte: O Autor (2022)

A partir da análise dos fluxos da operação obtidos na Planta 3, nota-se primariamente a existência de fluxos cruzados durante o processo produtivo. As setas de cor verde indicam o trajeto percorrido pelos operadores no transporte dos insumos de produção e transferência do produto processado rumo à etapa posterior. Destaca-se a necessidade de deslocamento entre as etapas 1 (Extrusão) e 2 (Impressão) acarretando em perdas por tempo de transporte e desgaste dos operadores. Outro ponto relevante, indicado pelas flechas azuis, está o deslocamento dos produtos acabados em direção aos depósitos, movimentação com grande dispêndio de tempo e esforço físico, pois os paletes dos itens formam SKUs de até 500 Kg. Somado a isto, a disposição física dos equipamentos na etapa de acabamento está oposta à doca de expedição. Este fato implica em diversos pontos de estoques de produto acabado em toda a planta além de dificultar a gestão logística.

Tabela 3 - Necessidades de espaço para posicionamento das máquinas

Nº ETAPA	ETAPA	AREA
1	EXTRUSÃO	543,18 m ²
2	IMPRESSÃO	206,44 m ²
3	LAMINAÇÃO	143,14 m ²

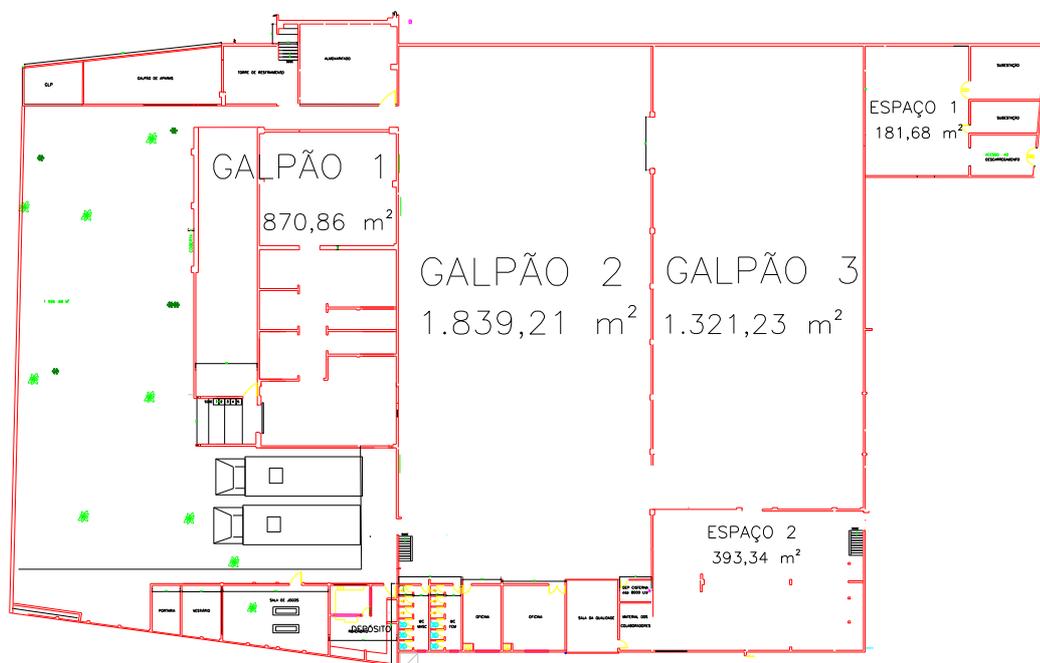
4	REFILE	76,88 m ²
5	VALVULADOS	239,99 m ²
6	CORTE E SOLDAS	203,94 m ²
7	QUALIDADE	16,00 m ²
8	ESTOQUE	636,94 m ²

Fonte: O Autor (2022)

Para a construção da tabela de necessidades de espaço utilizou-se da premissa indicada pela NBR-12, a qual afirma que a área do maquinário industrial deve ser todo o perímetro útil, considerando o espaço necessário para deslocamento dos operadores e área adequada para a execução de atividades de manutenção de forma segura. A partir destas orientações foram executadas medições in loco pelo autor deste estudo representadas na Tabela 3.

A partir da planta baixa e com a utilização do *software* AUTOCAD®, as dimensões das áreas de cada Galpão e Espaço foram obtidas e comparadas para validação com o espaço físico real, detalhadas na imagem a seguir:

Planta 4 - Espaço disponível na planta industrial



Fonte: O Autor (2022)

Seguindo a etapa indicada pela metodologia do SLP, a qual concentra-se nas medições e registros dos espaços disponíveis da planta industrial. Durante as visitas ao local obteve-se a

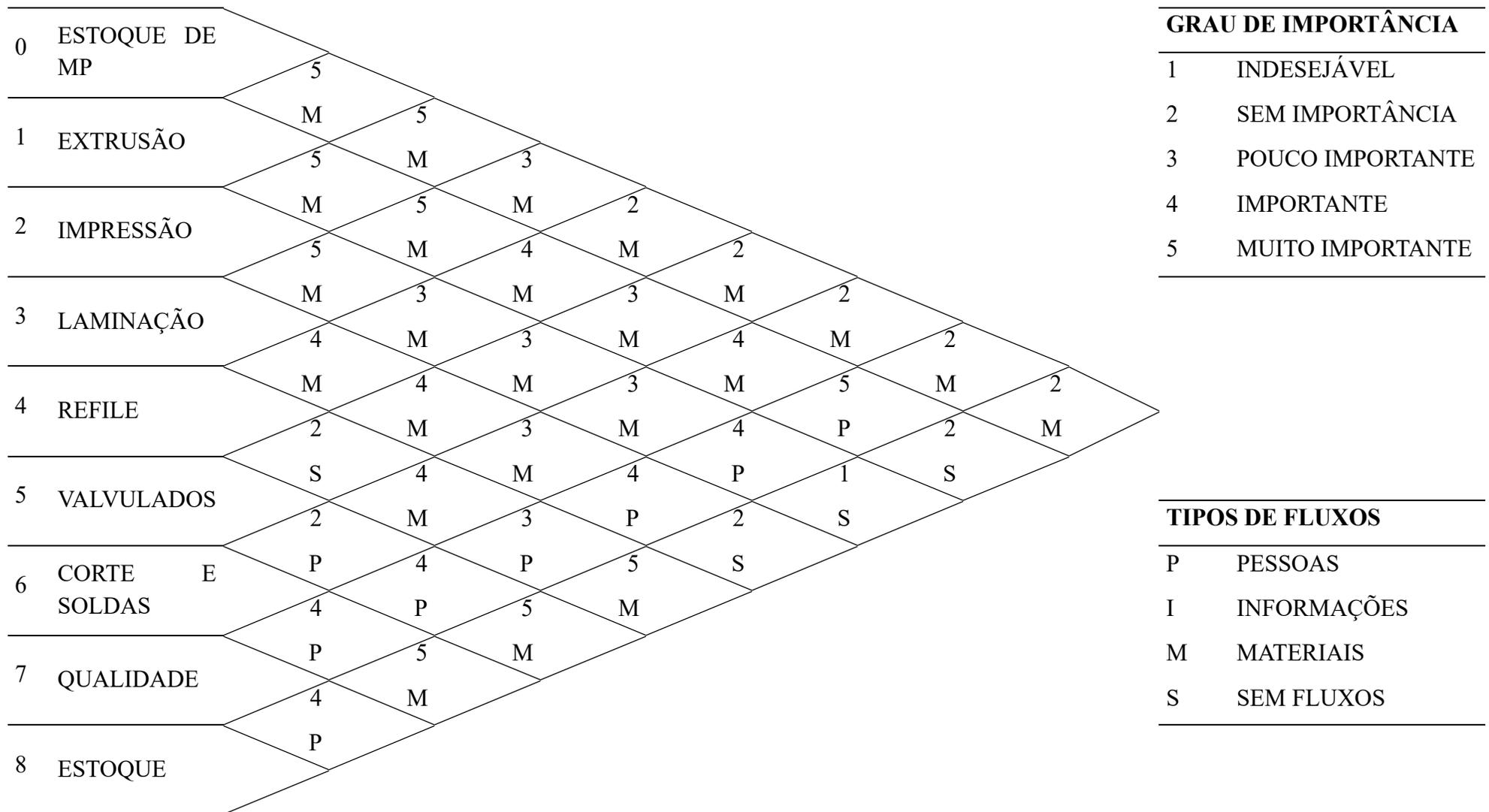
planta baixa de toda a empresa. Um fato que pode ser destacado foi a existência do Espaço 1 com subutilização, servindo apenas como local para armazenar peças e maquinários antigos. Além disto, evidencia-se o excesso de subdivisões encontradas no Galpão 1, dificultando a utilização de todo o espaço disponível do armazém.

4.2.2 Fase 2: Pesquisa do SLP

Seguindo o procedimento da ferramenta para a construção da carta de interligações preferenciais, atribui-se valores nos cruzamentos das linhas dos setores para a parte superior e inferior do losango formado. Na parte superior insere-se o grau de importância da relação de proximidade entre os setores, utilizando uma escala de 1 a 5, onde 5 é muito importante e 1 indesejável.

A análise do grau de importância de proximidade por si só não é suficiente para a determinação da localização das etapas no *layout* da empresa. Se faz necessário conhecer o tipo de fluxo existente entre estas duas etapas. Para este estudo foram analisados os três tipos de fluxo descritos por Slack, Chambers e Johnston (2002): pessoas (atribuindo-se a letra “P”), informações (atribuindo-se a letra “I”) e materiais (atribuindo-se a letra “M”). Nas situações em que não havia nenhum tipo de fluxo, foi atribuída a letra “S” (sem fluxo).

Figura 16 - Carta de interligações preferenciais



Fonte: O Autor (2022)

Por meio da construção da carta de interligações preferenciais pode-se observar os seguintes pontos: a grande importância da aproximação entre o Estoque de MP junto as Etapas 1 e 2. De forma análoga, o setor de acabamento (Etapas 4, 5, e 6) requer proximidade com o Estoque de produtos finalizados, destaca-se também a importância do setor da Qualidade com grande fluxo de Pessoas, visto em loco que essa movimentação de pessoas é referente a avaliações de amostras de Produção para julgamento dos padrões de especificações.

4.2.2.1 Limitações Práticas e Restrições

As limitações práticas elencadas neste estudo foram obtidas por meio de observações dos galpões industriais, somado a diálogos com os operadores, gestores e diretores da organização. Dentre as limitações e restrições encontradas observa-se:

- Grande número de colunas e paredes nos setores: Galpão 1, Espaço 1 e Espaço 2;
- Necessidade da Etapa 1 estar próxima da Subestação de Energia (localizado no Espaço 1), devido a questões técnicas de cabeamento de perdas e ruídos ocasionados por grandes distâncias na alimentação;
- A Etapa 2, apresenta uma peculiaridade de estar em um ambiente com pouca ou nenhuma circulação de ar, pois ambientes ventilados alteram os parâmetros do processo impactando diretamente na qualidade do produto processado.
- Um desejo dos Diretores da empresa é que o novo *layout* permita a inserção de novos equipamentos em todas as etapas.
- Devido ao tipo de produto produzido e critérios normativos da Vigilância Sanitária, a empilhadeira utilizada na empresa deverá ter rota restrita, devendo o novo *layout* contemplar este requisito;
- O piso dos galpões principais apresenta grande desgaste e cotas diferentes, prejudicando o fluxo de materiais;

4.2.2.2 Alternativas de Layouts

Após o estudo e segmentação das características da empresa, observa-se um Processo por Tarefa ou *make to order*. Esta classificação corrobora ao identificar a diversidade de itens produzidos disparados apenas pela ordem de compra do cliente (CORRÊA, 2012).

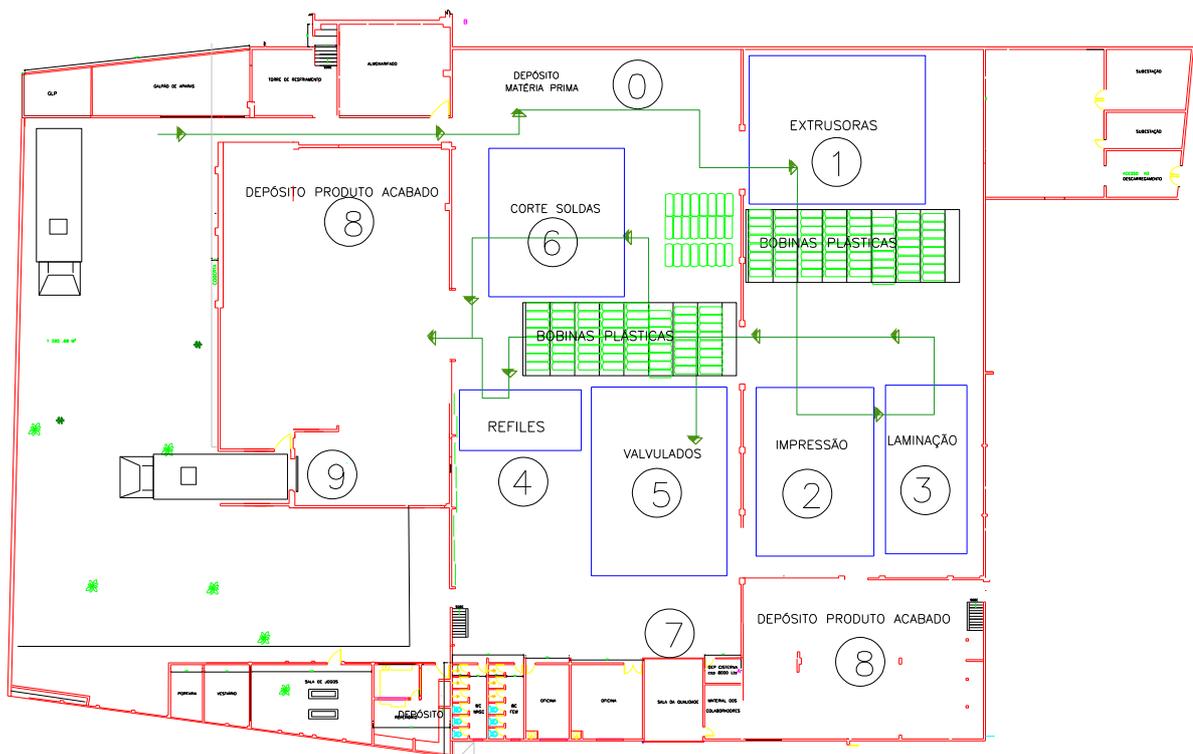
Partindo do alinhamento entre o processo de produção e o arranjo físico mais

adequado, sugere-se o *layout* do tipo U, de contexto híbrido à lógica do arranjo físico por Processo. Neste método existe o agrupamento de máquinas pela combinação de rotas e similaridade de operação em que exista um percurso em formato da letra “U”. Assim como sugerido nos estudos de (BURBIDGE apud OLORUNNIWO & UDO, 2002).

Propostas de configuração de *layout* para a empresa em estudo foram formuladas, partindo das premissas do modelo por Processo somado à fluidez do formato em “U”, bem como o atendimento às limitações práticas levantadas anteriormente. O posicionamento do maquinário foi estabelecido pelos fluxos das atividades e importâncias delineadas pela carta de interligações preferenciais, devido ao alto nível de desgaste do piso e suas diferenças de cotas para todas as propostas a seguir considera-se a recuperação do piso fabril.

A Planta 5 retrata a primeira proposta de *layout*. Pode-se observar que as Etapas: 1, 2 e 3 foram aproximadas conforme importância de fluxo, sendo alocadas todas no Galpão 3. O depósito da matéria prima foi deslocado para uma região próxima das Etapas de maior correlação 1 e 2. Já para o setor de acabamento, todos os equipamentos seriam posicionados no Galpão 2, considerando a relevância de sua proximidade ao novo depósito de produto acabado no Galpão 1. Somado a estes fatores, uma doca seria criada na Etapa 9, objetivando organizar e absorver todo o fluxo logístico de entrega dos produtos acabados da empresa.

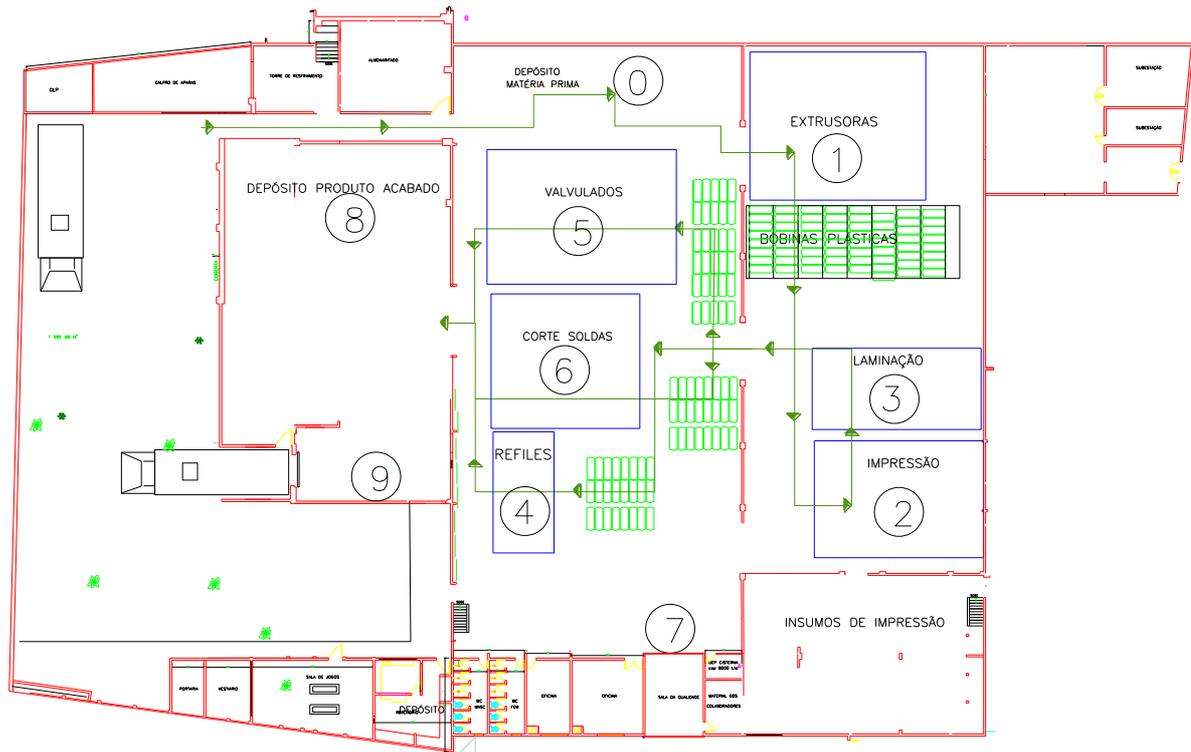
Planta 5 - 1ª proposta de *layout*



Fonte: O Autor (2022)

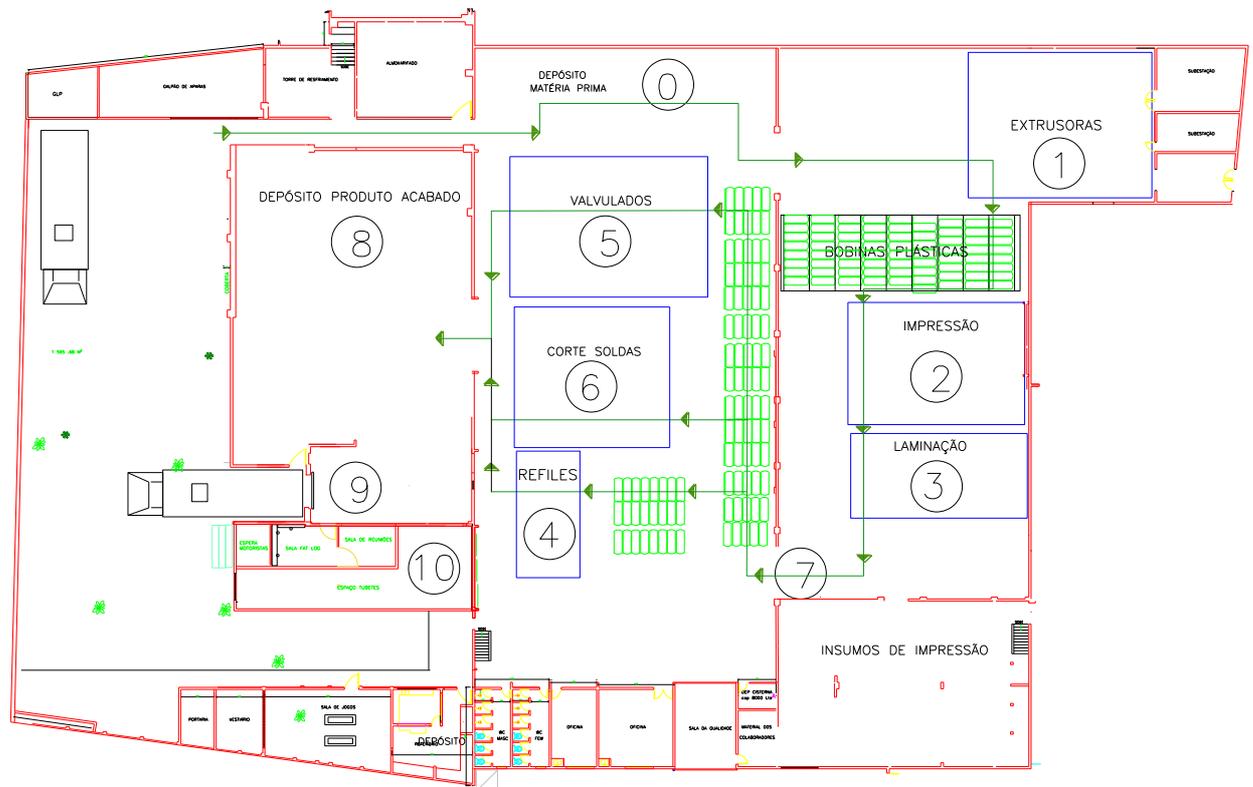
Na segunda proposta, difere-se da primeira apenas no posicionamento dos equipamentos das Etapas 4, 5 e 6, esta modificação visa disponibilizar espaços pré planejados para uma futura aquisição de máquinas no setor de acabamento, como pode ser visualizado na figura a seguir:

Planta 6 - 2ª proposta de *layout*



Fonte: O Autor (2022)

A terceira proposta de *layout* reposiciona as operações 2 e 3 para o mesmo galpão da etapa 1, pois existe similaridade de fluxo onde cerca de 97% dos itens que são produzidos na operação 1 se destinam à operação 2. Por meio desta alteração existe uma possibilidade de redução na perda por transporte de bobinas. Outro ponto a destacar é o posicionamento dos estoques intermediários, sendo modificados para o modelo “*First In, First Out*” (FIFO) onde o operador do setor predecessor abastece por trás do local de armazenagem das bobinas, facilitando a retirada a posteriori.

Planta 7 - 3ª proposta de *layout*

Fonte: O Autor (2022)

Já para as operações 4, 5 e 6 a opção analisada foi o posicionamento em conjunto, pois além de similaridade de função esta etapa é responsável por gerar a transformação final do produto e deve estar próxima à expedição. Sobre o armazém de matéria prima, foi considerada a região próxima da operação 1, a qual destina-se a este insumo. Pode-se observar que todo o produto acabado está posicionado em um único local, próximo a nova doca de expedição (Etapa 9). Por meio destas alterações o deslocamento da empilhadeira será restringido, elevando o grau de segurança e reduzindo possíveis contaminações pela ingestão dos gases provenientes da combustão do motor.

Ainda sobre a terceira proposta, a Etapa 7 foi distribuída para as rotas de transporte dos produtos intermediários, criando pontos de checagem da qualidade entre as Etapas. Um novo setor representado pela Etapa 10 seria construído com objetivo de alocar toda a equipe logística, pois no *layout* atual os colaboradores deste setor compartilham de um mezanino próximo a equipe administrativa, gerando excessivas perdas por deslocamento.

O posicionamento da Etapa 1 mais à direita do Galpão 3 permitirá uma redução nos ruídos e desperdícios elétricos, pois o quadro de distribuição estará bem próximo dos equipamentos e amparados pela subestação. Somado a todos esses benefícios supracitados a

cima serão disponibilizados espaços para aquisição de novos equipamentos nas Etapas de 1 a 6, sendo necessários mais de 665 m².

4.2.3 Fase 3: Seleção

Dando continuidade a metodologia SLP, executa-se o levantamento de critérios decisivos para a seleção da proposta mais adequada de arranjo fabril. O autor do estudo junto aos gestores da organização especificou os seguintes pontos:

- I. Atender as limitações práticas e restrições;
- II. Promover a saúde, segurança e bem estar dos colaboradores;
- III. Reduzir os desperdícios;
- IV. Otimizar a execução das atividades laborais;
- V. Aumentar a eficiência da planta industrial;
- VI. Elevar os indicadores de acuracidade dos estoques da empresa;
- VII. Redução do WIP (*Work in Progress*);
- VIII. Estimular a polivalência dos operadores.

Destacando o processo de decisão, optou-se por utilizar um método estruturado na *expertise* dos envolvidos, onde cada critério foi avaliado e discutido por um conjunto de stakeholders com conhecimento nas áreas de Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Economia, Marketing, Estratégia Organizacional, Controladoria e Administração.

Tabela 4 - Adequação das propostas de *layout* às restrições

Limitações e/ou Restrições	Modelo de <i>Layout</i>		
	Proposta 1	Proposta 2	Proposta 3
1	ok	ok	ok
2	Parcial	Parcial	ok
3	ok	ok	ok
4	Não atende	Parcial	ok
5	Parcial	ok	ok
6	ok	ok	ok

Fonte: O Autor (2022)

Tendo como base esses critérios somados ao atendimento das restrições, o autor deste estudo junto aos gestores e diretores da empresa discutiram exaustivamente as propostas

durante um horizonte de 60 dias. Após inúmeras tentativas em criar novas sugestões de *layouts* que oportunizassem mais benefícios em comparação as três propostas apresentadas além de visitas de benchmark, tomou-se como decisão final a adoção da 3ª Proposta.

O terceiro modelo foi classificado como melhor proposta, pois além das limitações práticas e restrições impostas terem sido completamente atendidas, foi observado pelos Stakeholders de forma qualitativa uma performance superior nos critérios. Na busca por atender a expectativa dos diretores da organização sobre retorno do investimento e ganhos nos critérios V e VII em formato quantitativo, se fez necessário utilizar um modelo de simulação computacional, com objetivo de comparar a performance do *layout* atual junto a 3ª proposta e validar seus benefícios discorridos anteriormente.

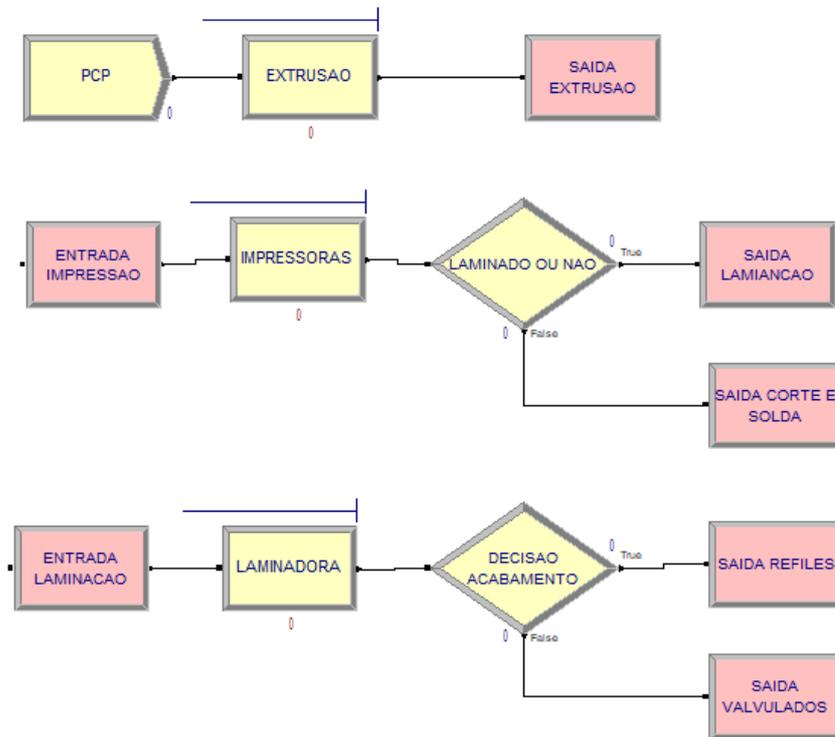
4.2.3.1 Aplicação da Simulação Computacional

Conforme Fluxograma 6, a proposta de arranjo físico será aplicada ao modelo computacional para análises dos indicadores de saída do simulador ARENA®, de forma comparativa envolvendo o *layout* atual com a 3ª proposta desenvolvida neste estudo.

O desenvolvimento do modelo computacional foi estruturado através do software ARENA® versão *student*, a principal funcionalidade deste software consiste na simulação de processos de produção/serviços em forma de blocos de um fluxograma (PEGDEN, 1990 apud Pereira *et al.*, 2017).

Durante a programação do modelo utilizou-se os blocos do tipo *process*, indicando cada processo de produção da empresa, *station* o qual define a estação de trabalho relacionando com a localização no *layout* fabril e o bloco *leave* como sendo a distância em tempo para deslocar o produto entre uma etapa e outra da produção. O Fluxograma 6 demonstra a parte inicial do processo, englobando a entrada das ordens de produção provenientes do PCP e as etapas 1 e 2.

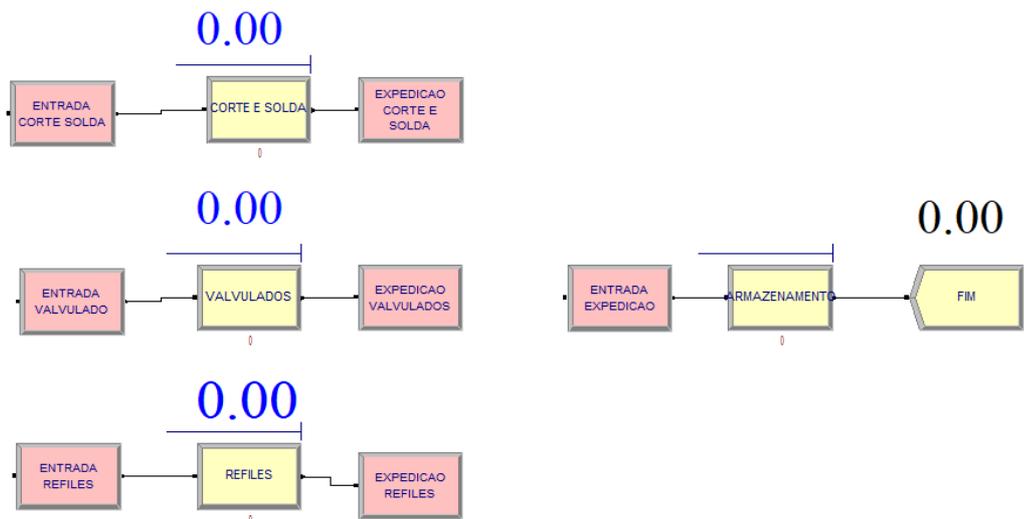
Fluxograma 6 - Modelagem das etapas de 1 a 3



Fonte. O Autor (2022)

O Fluxograma 7 contempla os setores 4, 5, 6 e 8, responsáveis pela produção dos itens acabados do processo e sua armazenagem no setor de Expedição.

Fluxograma 7 - Modelagem das etapas de 4 a 8



Fonte: O Autor (2022)

Para a construção do modelo e possível comparativo do cenário pré e pós simulação adotou-se a simplificação do tempo de processamento de cada etapa, utilizando os valores da

média de Toneladas por hora de produção fornecida pelo relatório de produção da empresa. Modelando como simulação de eventos discretos determinísticos. A tabela a seguir converte a produtividade por hora em tempo de processamento, posteriormente em horas necessárias para a chegada de uma tonelada, valor necessário para a parametrização do modelo.

Tabela 5 - Processamento por etapas em toneladas por hora

Etapa	Produção em Ton/h	Tempo de chegadas Ton/h
Extrusão	0,350	2,857
Impressão	0,300	3,333
Laminação	0,285	3,509
Refiles	0,500	2,000
Corte/ Soldas	0,400	2,500
Valvulados	0,180	5,556

Fonte: O Autor (2021)

Outro insumo necessário para a simulação é o tempo de transporte entre as etapas de produção, através de medições com o cronômetro digital e considerado a média de cinco medições realizadas em dias alternados com operadores distintos, a seguinte tabela foi construída em que contempla a descrição das atividades executadas pelos colaboradores e o respectivo tempo.

Tabela 6 - Tempo para transporte do produto por etapa

Setor Origem	Tempo Transferência (min)	Frequência Diária	Tempo Total (min)	Descrição das Atividades	Transferência Total min/ T
Extrusão	3,000	16	48,000	Desligar o equipamento Pesar a bobina processada	5,714
Impressão	1,500	12	18,000	Registrar apontamento de produção	2,500
Laminação	4,500	10	45,000	Transportar a bobina até a próxima etapa	6,579
Refiles	5,500	4	22,000	Desligar o equipamento Desmontar parte do equipamento	1,833
Corte/ Soldas	5,000	2	10,000	Transportar o pallet para a expedição	1,042
Valvulados	5,000	4	20,000	Montar o equipamento	4,630

Fonte: O Autor (2022)

O *layout* proposto, por aproximar os setores dentro da lógica produtiva e fornecer a distribuição espacial do maquinário de forma a considerar o raio de giro necessário à

operação, resultou em reduções no tempo de transferência. Somado a este fator, o reposicionamento eliminou as tarefas de desmontar parte do equipamento no setor de acabamento, o que antes, devido ao pequeno espaço entre os maquinários, era rotina diária a cada finalização da ordem de produção, bem como a montagem para reinício da produção.

Estes novos tempos foram simulados em conjunto com os operadores mais experientes. As reduções propostas são convertidas em maior tempo de equipamento em funcionamento, obedecendo os dados abaixo:

Tabela 7 - Tempo para transporte do produto após o novo *layout*

Parâmetros Pós Otimização	Produção em T/h	Tempo de chegadas T/h	Tempo de Transporte (min)	Quant diária	Tempo Total (min)	Ganho em h	Tempo Transporte Total min/T	Adicional de Performance T/h
Extrusão	0,350	2,857	0,500	16,000	8,000	-0,133	0,952	-0,56%
Impressão	0,301	3,319	1,000	12,000	12,000	-0,200	1,660	-0,83%
Laminação	0,290	3,449	2,000	10,000	20,000	-0,333	2,874	-1,39%
Refíles	0,506	1,975	1,000	4,000	4,000	-0,067	0,329	-0,28%
Corte/ Soldas	0,402	2,486	1,000	2,000	2,000	-0,033	0,207	-0,14%
Valvulados	0,182	5,495	1,000	4,000	4,000	-0,067	0,916	-0,28%

Fonte: O Autor (2022)

Destacando o adicional de performance, o qual foi resultado das reduções de tempo de transferência do *layout* proposto, foi calculado através do ganho total em horas provenientes da maior disponibilidade de mão de obra convertida em operação dos equipamentos. O impacto desse maior tempo de funcionamento dos equipamentos influencia de forma positiva na média de produção, como pode ser identificado na tabela abaixo:

Tabela 8 - Tempo de processamento *layout* atual x *layout* 3ª proposta

Etapas	Pré Otimização			Pós Otimização	
	Produção em Ton/h	Chegadas Ton/h	Adicional Performance	Produção em Ton/h	Chegadas Ton/h
Extrusão	0,350	2,857	2,78%	0,360	2,780
Impressão	0,300	3,333	0,42%	0,301	3,319
Laminação	0,285	3,509	1,74%	0,290	3,449
Refíles	0,500	2,000	1,25%	0,506	1,975
Corte/ Soldas	0,400	2,500	0,56%	0,402	2,486
Valvulados	0,180	5,556	1,11%	0,182	5,495

Fonte: O Autor (2022)

Durante todas as rodadas da Simulação Computacional, considerou-se um período de 6 dias de simulados, referentes aos dias úteis semanais do calendário de turno da empresa, contemplando 24 horas diárias de produção e 10 dias de aquecimento. Tal tempo de aquecimento representa a necessidade do modelo para obter estabilidade nas iterações e abastecer os setores com produtos pré existentes. Os resultados serão comparados por meio dos indicadores fornecidos pelo próprio *software*, dentre eles destacam-se a produção final de itens acabados, taxa de utilização da etapa e tamanho médio na fila de pré-processamento, sempre em toneladas.

4.2.3.2 Comparando Cenários

Partindo da comparação entre o cenário atual e a 3ª proposta de *layout* do tipo “U” da Planta 7, a tabela a seguir demonstra as diferenças de performance nos principais indicadores provenientes do sistema. Inicialmente com a implementação da nova proposta pode-se obter um incremento de 1 tonelada semanal em produção, gerando aproximadamente 52 toneladas a mais de produtos anualmente.

Tabela 9 - Indicadores principais *layout* atual x *layout* 3ª proposta

Indicadores		<i>Layout</i> Atual	Novo <i>Layout</i> U 1º Cenário
Quant Produzida em Ton		39	40
WIP- <i>Work in process</i> em Ton		7,723	7,501
Utilização da Capacidade	1-Extrusão	100%	100%
	2-Impressão	97,95%	98,06%
	3-Laminação	80,08%	79,68%
	4-Refiler	14,30%	14,70%
	6-Corte/ Soldas	3,54%	3,45%
	5-Valvulados	22,18%	20,99%

Fonte: O Autor (2022)

Os demais indicadores referem-se à utilização da capacidade dos recursos, nota-se que a proposta 3 potencializa a polivalência dos colaboradores, visto que os setores estão mais próximos e os índices de utilização estão mais baixos, gerando um indicativo forte de ociosidade nas etapas de acabamento. Outro indicador de saída do modelo é o tamanho médio

da fila em toneladas, a análise da tabela a seguir permitirá localizar os possíveis gargalos do processo, visualizando possíveis concentrações de estoques no início das etapas, além de possíveis necessidades da mão de obra por ocupação máxima da capacidade.

Tabela 10 - Tamanho médio para processamento *layout* atual x *layout* 3ª proposta

	Indicadores	<i>Layout</i> Atual	Novo <i>Layout</i> U 1º Cenário
Tamanho médio da fila em Ton	1-Extrusão	x	x
	2-Impressão	3,453	3,369
	3-Laminação	0,205	0,131
	4-Refiles	0	0
	6-Corte/ Soldas	0	0
	5-Valvulados	0	0

Fonte: O Autor (2022)

Analisando a Tabela 10, nota-se que a etapa 2 apresenta uma fila com média superior a 3 toneladas de produtos aguardando a serem processados. Na busca por reduzir este estoque e por consequência obter os benefícios desta ação, uma segunda rodada no simulador se faz necessária, o objetivo desta iteração está na diluição destes estoques antes da etapa de Impressão aplicando a estratégia de alocação de 25% e 50% dos colaboradores dos setores 4, 5 e 6 para a etapa 2. Dentro do simulador isto será executado alterando os parâmetros de capacidades dos recursos.

Por meio da 3ª Proposta do novo arranjo físico, um total de 4 simulações foram executadas, sendo a primeira com o modelo de *layout* atual da empresa, o 1º cenário refere-se à implementação do novo *layout*, porém mantendo a posição fixa dos colaboradores. No 2º cenário, adota-se a polivalência de 25% dos colaboradores. Nos quais se dividem entre as etapas do Acabamento (4, 5 e 6) e a etapa 2, Impressão. Já o 3º cenário, aplica-se a polivalência de 50% dos colaboradores conforme a lógica de distribuição do 2º cenário.

Tabela 11 - Indicadores principais *layout* atual x *layout* 3ª proposta

Indicadores	<i>Layout</i> Atual	Novo <i>Layout</i>	Novo <i>Layout</i>	Novo <i>Layout</i>
		U 1º Cenário	U 2º Cenário 25% Polivalência	U 3º Cenário 50% Polivalência
Quant Produzida em Ton	39	40	40	45
WIP- <i>Work in process</i> em Ton	7,723	7,501	7,500	5,337
Utilização da Capacidade	1-Extrusão	100%	100%	100%
	2-Impressão	97,95%	98,06%	98%
	3-Laminação	80,08%	79,68%	79,69%
	4-Refiles	14,30%	14,70%	29,41%
	6-Corte/ Soldas	3,54%	3,45%	4,60%
	5-Valvulados	22,18%	20,99%	20,99%
Tamanho médio da fila em Ton	1-Extrusão	x	x	x
	2-Impressão	3,453	3,369	3,367
	3-Laminação	0,205	0,131	0,131
	4-Refiles	0	0	0
	6-Corte/ Soldas	0	0	0
	5-Valvulados	0	0	0

Fonte: O Autor (2022)

A partir do indicativo nas simulações do aumento de performance operacional, por meio da polivalência da equipe de colaboradores, os atuais gestores alertaram sobre a garantia da qualidade, visto que a flutuação dos funcionários poderia deslocar mão de obra com menor expertise para etapas que requerem maior conhecimento e habilidades. Esta hipótese somou a motivação do estudo para a implementação da próxima ferramenta advinda da Indústria 4.0, o desenvolvimento de um sistema de Visão Computacional.

4.3 Aplicação da Visão Computacional

Neste capítulo será apresentado o modelo desenvolvido e implementado de Visão Computacional, descrevendo todas as abordagens motivadoras para a aplicação desta ferramenta, bem como suas fases de construção e teste.

Na busca por solucionar o problema de julgamento tardio dos lotes em produção e fornecer menor dependência do processo à mão de obra do operador, que estará em movimentação pela nova proposta de *layout*, o atual estudo sugeriu a implementação de um

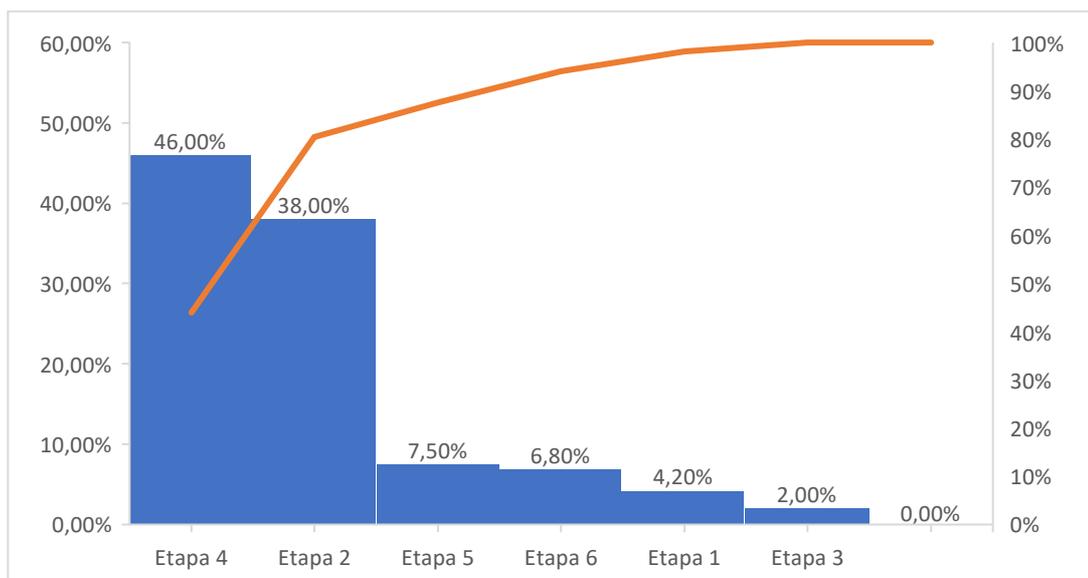
sistema de inspeção em tempo real semiautônoma, sendo desenvolvido em linguagem Python e implementado na arquitetura da Visão Computacional.

4.3.1 Decisão Gerencial da Etapa a Ser Contemplada

Partindo da análise do Fluxograma 5, observou-se que cada etapa apresenta diversas oportunidades de pontos de controle por inspeção em tempo real, o sistema da qualidade atual da empresa conta com *checklists* customizados por etapa em que os próprios operadores aferem os parâmetros do produto em processamento em intervalos de 30 em 30 minutos.

A partir disto buscou-se mapear com o gestor da empresa quais os setores que tinham os maiores índices de perdas devido a ocorrência de não conformidades. Após o levantamento de dados provenientes do sistema ERP (*enterprise resource planning*) da organização.

Gráfico 1 - Perdas por etapa

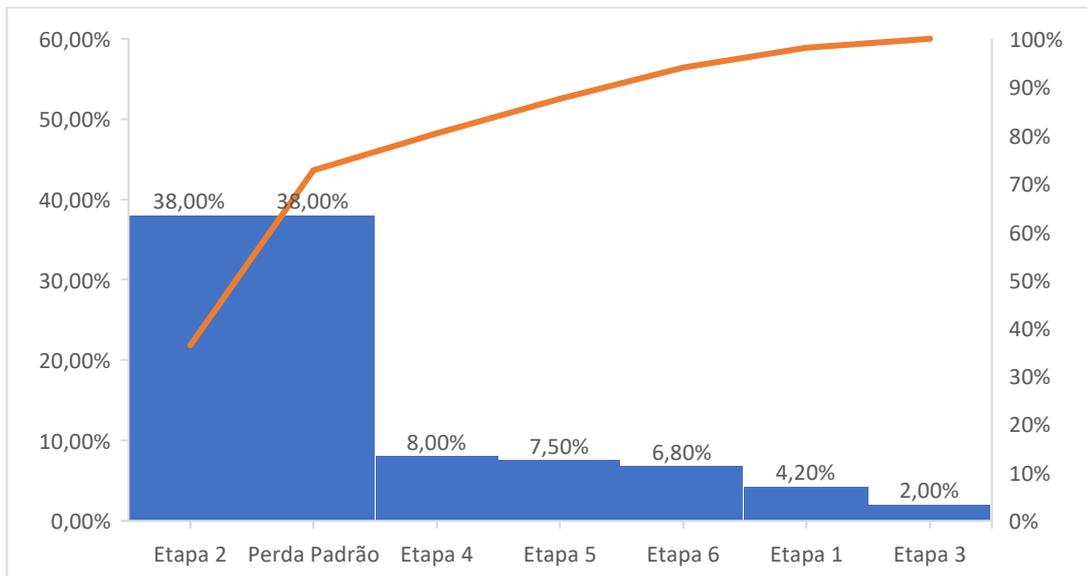


Fonte: O Autor (2022)

Guiado pelo Diagrama de Pareto, o qual apresenta como princípio a relação de 20% das causas principais são responsáveis por 80% dos problemas em uma organização, pode-se extrair que as etapas 2 e 4 são as mais impactantes e de total relevância para a redução dos custos por perda no processo.

Ao se aprofundar sobre as operações da etapa 4, mapeou-se a partir de diálogo com os gestores e operadores da função, que 85% desta perda é originada por características do próprio processo, sendo provisionado e previsto no custo do final do produto. Devido a este fato relevante os dados foram reestruturados e estão descritos na Gráfico 2.

Gráfico 2 - Perdas por etapa estratificadas

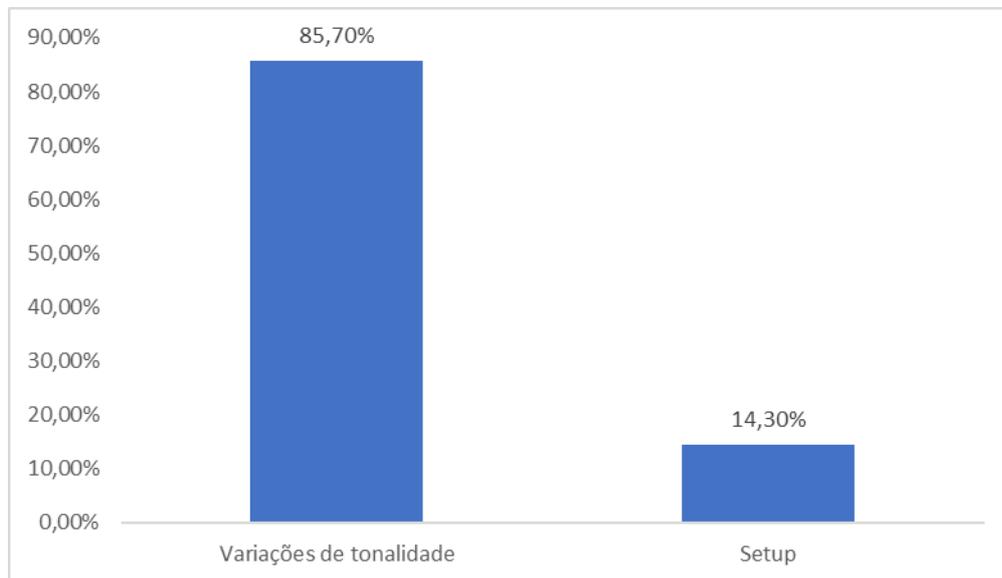


Fonte: O Autor (2022)

A partir deste novo conceito, desdobrando as perdas da etapa 4 em “Perda Padrão” e as próprias perdas referentes ao processo, observa-se um novo posicionamento e releitura da relevância. Para este cenário, recomenda-se um maior foco e ações para reduzir as perdas provocadas na operação 2.

Em detalhes, a etapa 2 consiste na operação de Impressão, onde utiliza-se do método da flexografia para a transferência da arte desejada pelo cliente nas respectivas embalagens. As perdas geradas nesta etapa estão relacionadas inicialmente ao ajuste do pedido, devido às reprovações por variações de tonalidade durante a checagem da qualidade. A proporção dessas perdas está detalhada no gráfico a seguir.

Gráfico 3 - Desdobramento das perdas na etapa 2



Fonte: O Autor (2022)

Evidenciando as perdas pelo motivo de não conformidade “Variação de tonalidade” o presente estudo busca na ferramenta da Visão Computacional desenvolver um sistema que analise em tempo real a existência dessa variação e oferte um *feedback* automático e instantâneo aos operadores para correção imediata, reduzindo assim uma grande fonte de perda para a empresa.

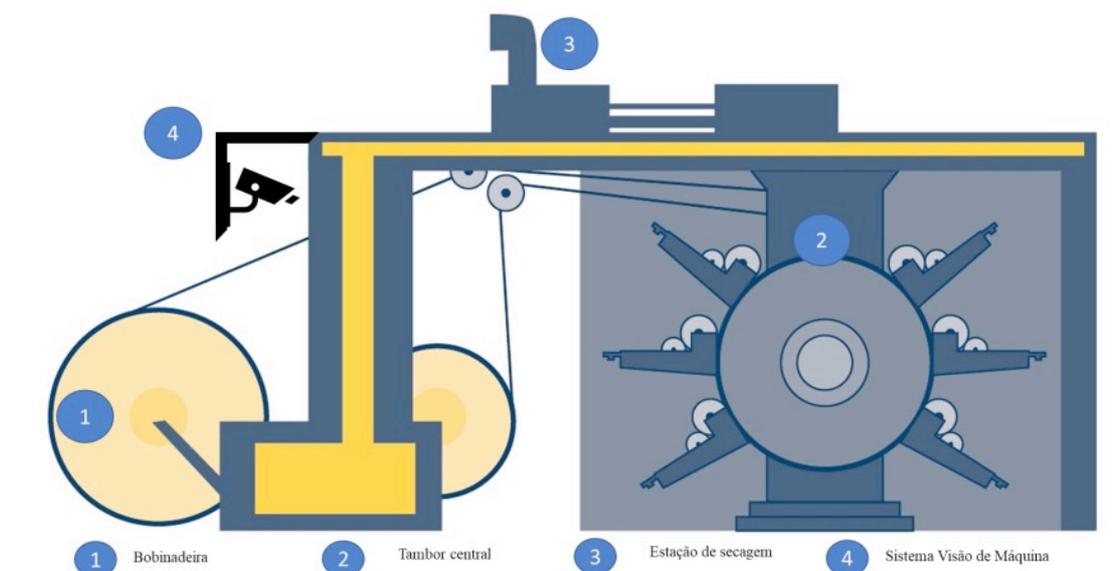
4.3.2 Desenvolvimento do Sistema de Inspeção

Inicialmente, para a construção do sistema de Visão Computacional buscou-se compreender o funcionamento do equipamento, seu modo de processamento da matéria-prima e possíveis locais para instalação dos recursos. Posteriormente, os recursos técnicos de *hardwares* e *softwares* foram selecionados a fim de obter uma implementação eficiente e com menor custo possível.

4.3.2.1 Características do Equipamento Inspeccionado

Por meio do acompanhamento do processo, constatou-se que o equipamento disponibiliza de apenas um local para instalação do sistema, a Figura 17 retrata as características dimensionais da máquina e seus pontos mais importantes.

Figura 17 - Impressora flexográfica



Fonte: O Autor (2022)

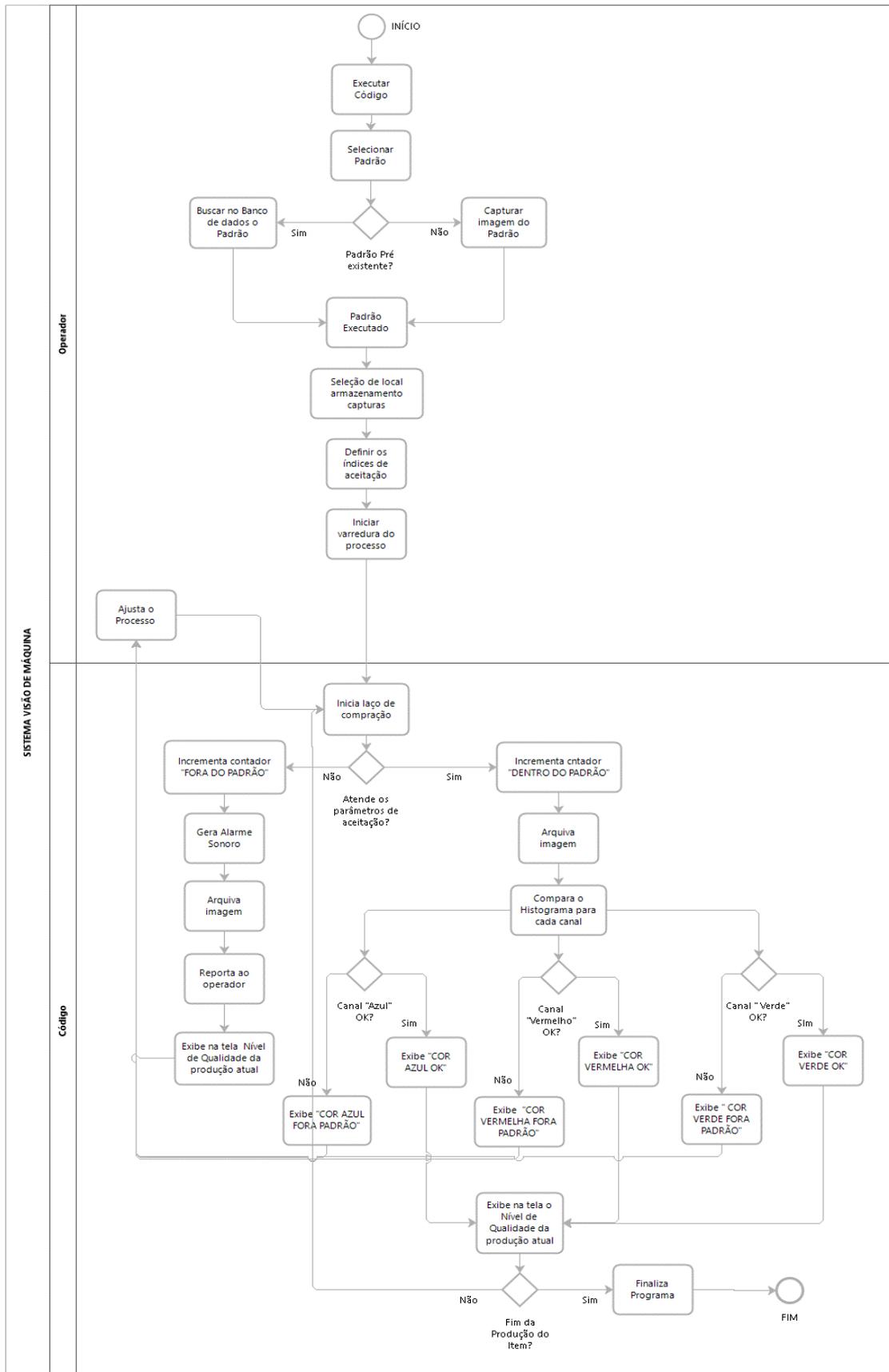
Resumidamente, o funcionamento das impressoras flexográficas seguem o modelo representado pela Figura 28, onde inicia-se pelo conjunto mecânico para suporte e tracionamento da bobina plástica que sofrerá impressão. Posteriormente cada película plástica percorre a parte 2, denominada de tambor central, recebendo as cores para formação da imagem final. A terceira parte contempla o sistema de secagem, que atua para permitir o rebobinamento sem danos ao produto e no ponto 4, observou-se uma oportunidade para fixação do sistema de inspeção, pois é nesta região que os funcionários permanecem a maior parte do tempo acompanhando a qualidade final da impressão.

Outro fato de relevância está no controle de velocidade do equipamento, mesmo com os operadores mais experientes a visualização por completo limita-se a um terço da velocidade possível de produção, ou seja, cria-se um *trade-off* entre produtividade e confiabilidade da qualidade para o operador.

4.3.2.2 *Lógica de Programação*

Visando auxiliar a construção do código fonte um fluxograma da lógica de programação foi traçado. O fluxograma proposto apresenta dois agentes atuantes no processo, o primeiro será o usuário, neste caso o operador, posteriormente o próprio código funcionará como o segundo agente, executando a inspeção por meio de comparações do registro atual com o padrão pré-definido.

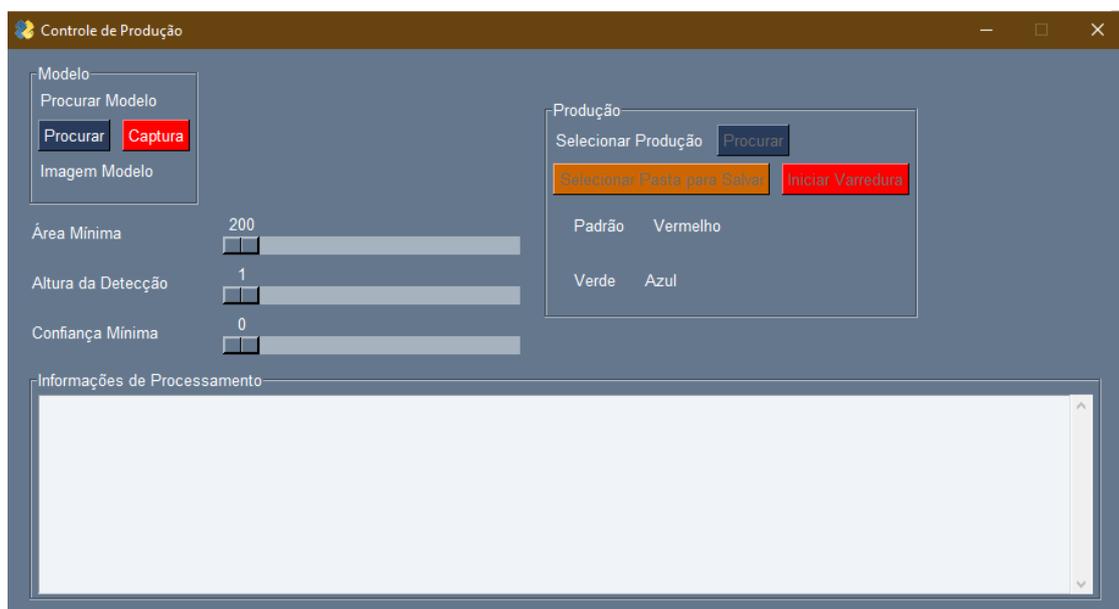
Fluxograma 8 - Fluxograma sistema de visão de máquina



Fonte: O Autor (2022)

A partir de uma interface amigável, o usuário optará pelo formato desejado do padrão de qualidade, selecionando entre utilizar de um arquivo pré-existente ou capturar uma foto do padrão atual em máquina. Posteriormente se faz necessário a escolha do diretório para armazenamento das imagens capturadas. O dispositivo de processamento permite conexão com a internet nos formatos de Wi-Fi e via cabo de rede. Esta funcionalidade permite criar uma pasta nas nuvens para armazenamento, promovendo uma consulta remota das imagens e estado de operação da máquina.

Figura 18 - Interface do sistema de visão de máquina



Fonte: O Autor (2022)

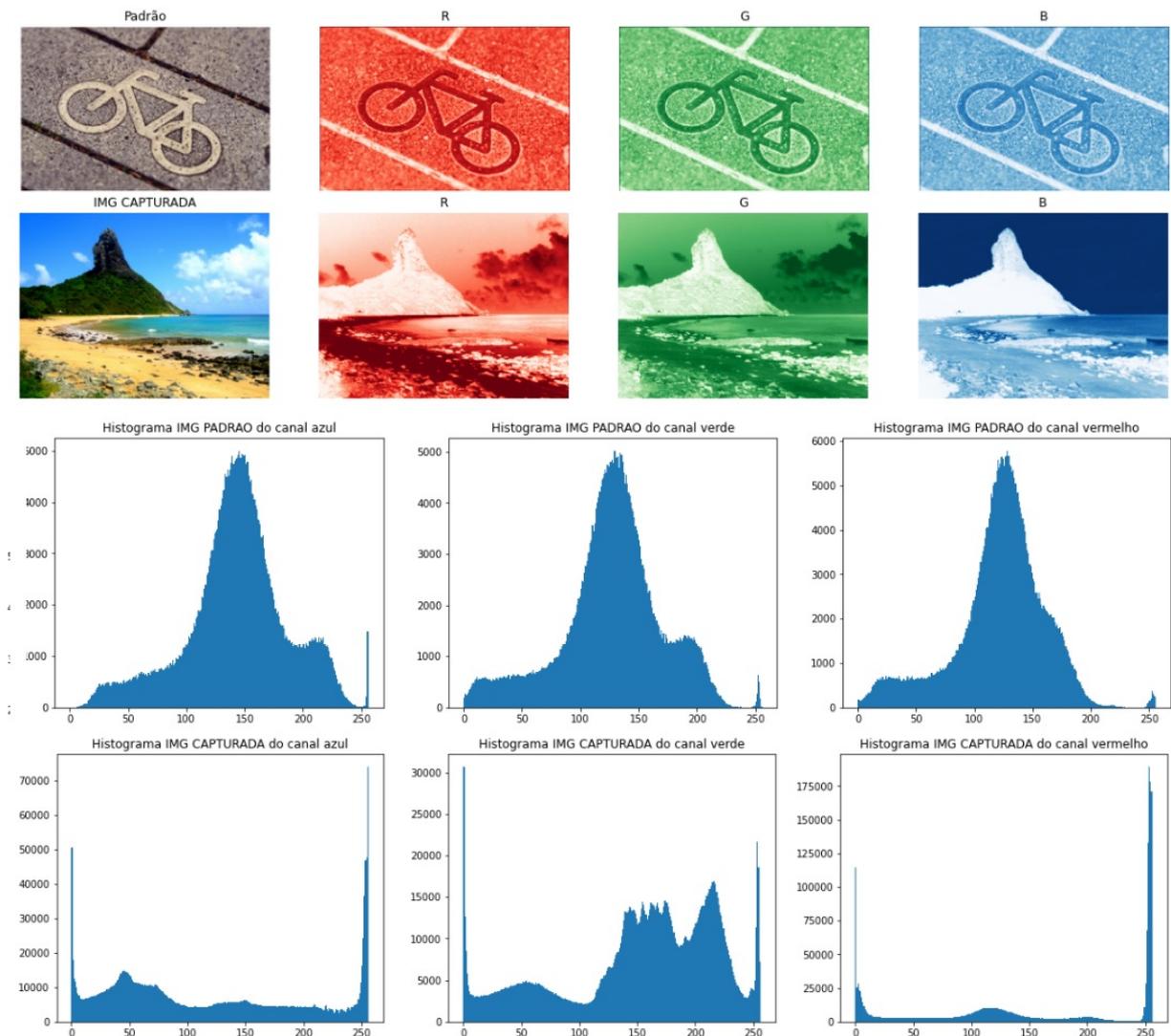
O próximo Setup a ser executado é a definição da área mínima. Este parâmetro indica ao código a região de interesse, quanto menor, o código irá procurar o grau de semelhança em todos os pontos da captura, quanto maior o algoritmo delimita a região focal de busca para o ponto central da imagem. Este parâmetro foi criado para corrigir possíveis variações nos tamanhos dos produtos, devido a diversidade de imagens e itens que a empresa oferta.

O segundo parâmetro de configuração é altura de detecção, esta etapa define uma régua no ângulo de captura, ou seja, permite com que o código gere a ação de fotografar digitalmente qualquer imagem que ultrapasse a linha de captura. Este foi um artifício utilizado para conduzir o momento ideal da captura, evitando a comparação de pontos descorrelacionados, dado que o equipamento imprime de forma contínua e separa as repetições da imagem por pequenos intervalos sem impressão. Vale destacar que este comando reduz os índices de processamento do código e tamanho das unidades de

armazenamento, pois reduz demasiadamente o número de capturas e arquivos.

Como próxima etapa executada pelo usuário define-se a confiança mínima, valor que será insumo para a comparação entre os histogramas dos canais de cores RGB, dado que uma faixa alta de confiança foi definida, implicará em um coeficiente de correlação alto ou muito próximo de 1, como pode ser visto no Histograma 2, segundo tópico abordado na referência teórica deste estudo, provocando uma inspeção com limites de aceitação mais estreitos. A funcionalidade desta aplicação permite com que a empresa crie índices customizados de aceitação para as classes de clientes ou produtos, além de comparar a performance dos operadores.

Histograma 2 - Saída do código desenvolvido



Fonte: O Autor (2022)

A última etapa a ser executada pelo usuário é o comando de iniciar a varredura, a

partir deste ponto o próprio código será o agente atuante na inspeção, utilizando do método de correlação dos histogramas por canal de cor o sistema irá de pontos de decisão para alimentar os indicadores de saída e feedback para o operador. A Figura 20 demonstra a interface do sistema de Visão Computacional deste estudo, onde a janela descrita como “Informações de processamento” irá detalhar a resposta da inspeção da produção atual e retornar o indicador de proporção de itens conformes.

4.3.3 Validação

Neste capítulo serão abordados os detalhes para validação do modelo de Visão Computacional voltado para inspeção da qualidade na etapa de impressão. A implementação ocorreu nos meses de fevereiro a março de 2022, na cidade de Gravatá, estado de Pernambuco.

A validação foi realizada em duas etapas, sendo a primeira responsável pelo Setup que envolve a distância focal e o ângulo de captura. A segunda etapa consistiu em selecionar 5 itens com características distintas. O objetivo destas etapas está em encontrar um melhor ajuste de parâmetros para extrair o maior nível de confiança possível e testar o julgamento do código. Cada item utilizado apresenta imagens diferentes e são processados com velocidades variáveis na impressora flexográfica. A figura a seguir demonstra a fase de desenvolvimento e testes iniciais do modelo.

Fotografia 7 - Testes iniciais do sistema de visão

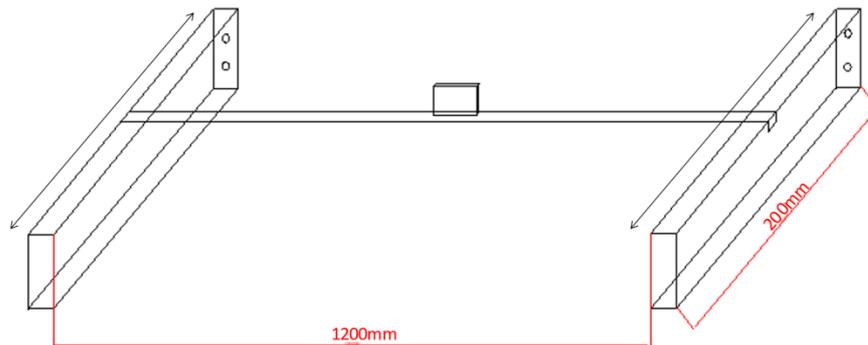


Fonte: O Autor (2022)

Bastante estimulado pela diversidade de itens que são processados nas impressoras flexográficas, onde as dimensões da área impressa e das larguras das bobinas são

customizáveis, se fez necessário construir um suporte que permita aproximar e afastar a câmera do sistema ajustando assim a distância focal. Este fator é de total relevância para a qualidade da imagem capturada além de permitir a varredura de toda a arte impressa do produto. Uma estrutura foi planejada e confeccionada a partir da figura a seguir:

Figura 19 - Suporte com regulagem de distância



Fonte: O Autor (2022)

Outro ponto relevante que pode impactar no nível de confiança detectável pelo sistema é o ângulo de captura, sendo este regulado na própria webcam variando de 0° a 30°. O conjunto completo pode ser visualizado na figura 19.

Fotografia 8 - Suporte final do sistema de visão



Fonte: O Autor (2022)

Na busca por definir um padrão inicial de regulagem que obtenha uma maior qualidade de imagem e conseqüentemente uma melhor saída para o julgamento do sistema de visão de máquina, foram testados 3 distâncias e ângulos de capturas, sendo: 8 cm, 10 cm, 20 cm e 0°, 15°, 30°. As imagens obtidas são referentes a um produto com área de impressão de

11 cm de comprimento por 4 cm de largura, denominada pela empresa como “sacos capas de fardos” que contém apenas a impressão de um código de barras, demonstradas a seguir:

Tabela 12 - Variação da distância e ângulo de captura

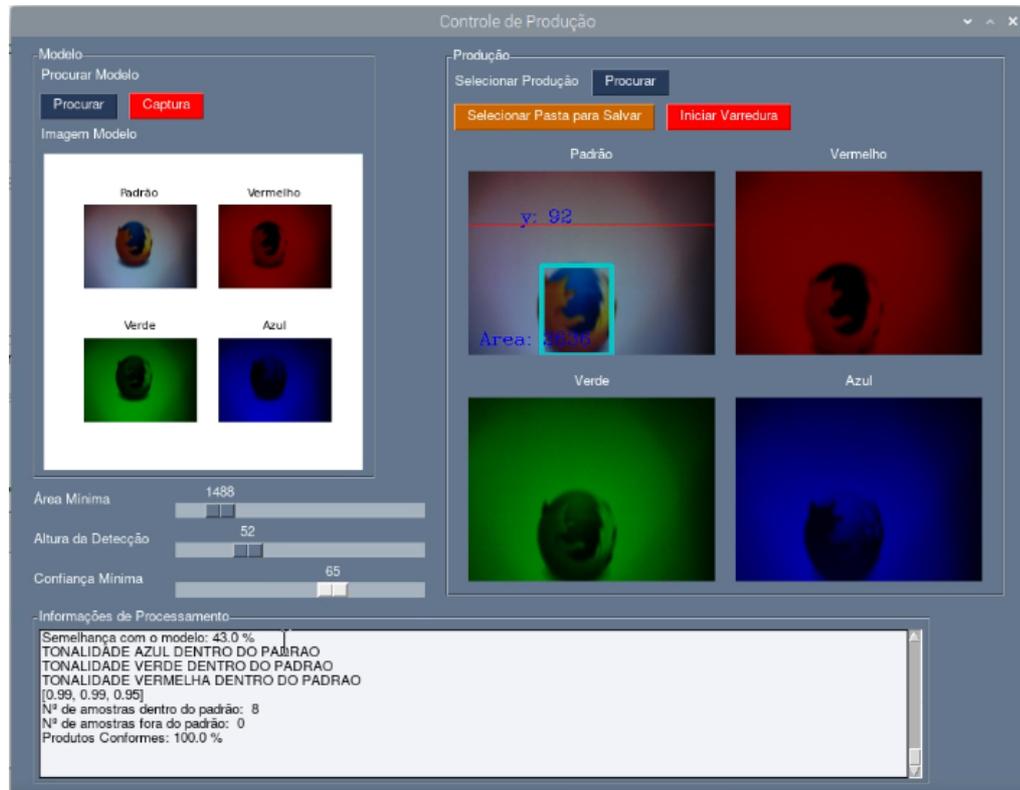
	8 cm	10 cm	20 cm
0°			
15°			
30°			

Fonte: O Autor (2022)

A partir da análise da Tabela 12, julga-se de forma qualitativa que o melhor *setup* para este item deve-se sugerir os parâmetros de distância focal com 10cm e ângulo de captura em 15°. Este ponto demonstra a relevância do ajuste correto para a inicialização das inspeções pelo sistema, a fim de reduzir influências como cortes da imagem impressa, reflexos do sistema de iluminação da máquina e baixa nitidez nas capturas. Por meio desta forma de *setup* foram executados os testes da segunda etapa de validação.

Um dos grandes desafios verificados na primeira etapa de teste foi a adequação da interface do sistema para facilitar a usabilidade entre os operadores, os comandos deveriam ser claros e a tela deveria demonstrar a imagem padrão, à esquerda e a captura da produção atual, à direita. A partir disto, os parâmetros de altura de detecção, confiança mínima e área de foco mínima foram convertidos em réguas, facilitando o *setup* para os usuários. A interface final do sistema pode ser conferida na Figura 20.

Figura 20 - Interface do Sistema em funcionamento



Fonte: O Autor (2022)

Para a segunda etapa desta validação, buscou-se verificar possíveis oscilações do programa relacionadas a velocidade de máquina. Foram inspecionados 5 itens com características diferentes como cores, formatos e área impressa. Durante o período de teste os operadores foram acompanhados do autor deste estudo para elucidar possíveis dúvidas de funcionamento e executar as ações de correção baseadas no feedback do sistema.

Tabela 13 - Resultados obtidos do sistema de inspeção

Produto	Nível máximo de confiança que permita detecção (Setup)	Nº de Capturas	Percentual de Produtos Conformes	Velocidade de Impressão
1	59%	121	77%	100 m/min
2	62%	278	87%	80 m/min
3	74%	174	92%	60 m/min
4	67%	134	88%	120 m/min
5	45%	92	63%	145m/min

Fonte: O Autor (2022)

A Tabela 13 foi construída para agrupar os dados obtidos, sendo a primeira coluna uma

descrição do item em produção, posteriormente o nível máximo obtido pelo sistema que permita ao algoritmo rodar a lógica de julgamento do produto, dado que quanto maior este nível, mais ajustado está o conjunto de *hardware* para o sistema implementado.

Posteriormente é registrado o número de capturas realizadas pelo sistema e armazenadas no diretório definido pelo usuário, importante para eventuais consultas. Na quarta coluna são visualizados os percentuais de produtos conformes obtidos pelo julgamento do código ao término de cada produção, e por último a velocidade de processamento do item na máquina em que o sistema foi acoplado.

Tabela 14 - Erro absoluto do sistema de inspeção

Produto	Percentual de Produtos	Percentual de Produtos	Erro $Ex = \Delta x = x_s - x_q $
	Conformes (Sistema de Visão de Máquina)	Conformes (Departamento da Qualidade)	
1	85%	81%	4
2	87%	90%	3
3	92%	91%	1
4	89%	95%	6
5	90%	82%	8

Fonte: O Autor (2022)

A partir dos dados obtidos com a simulação computacional de *layout* e a validação do sistema de inspeção. Serão discutidos e comparados os resultados, envolvendo o cenário atual da organização e um posterior cenário decorrido da implementação das melhorias propostas deste estudo. Alguns outros aspectos serão relatados que percorrem desde o envolvimento dos colaboradores com o projeto até os ganhos quantitativos provenientes destas melhorias.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente, empresas deste porte, e que estão inseridas em um cenário de alta competitividade se deparam com o grande desafio de melhorar seus processos. Porém as limitações orçamentárias impedem a aquisição e atualização constante das operações fabris. Neste cenário, situa-se a empresa descrita deste estudo, tendo como desafios diários promover melhorias em seus processos, produtos e custos de operação.

Diante deste contexto, organizações que passaram, ou estão, por gestão familiar, carregam *gaps* de oportunidades em melhorias. Uma destas oportunidades visualizadas neste estudo foi a reconfiguração do arranjo industrial. A atual situação da organização contava com um *layout* repleto de fluxos cruzados, muitas perdas por paradas de equipamento para que seja executado o transporte dos produtos para as diversas etapas. Transporte este que forçava o colaborador a percorrer grandes distâncias entre as operações, gerando desgastes e perdas por transporte.

Somado a estes fatos, a disposição atual do maquinário impossibilitava a alocação de novas máquinas. Os estoques de produtos acabados estavam pulverizados dentro da planta, dificultando a gestão e reduzindo os indicadores de acuracidade. Rotas exigidas por normas de segurança não estavam traçadas, gerando uma cultura de baixa percepção dos riscos e acidentes no processo.

A proposta fornecida por este estudo buscou atender as limitações estruturais, bem como conduzir para um novo *layout*. Adequando e dispondo os recursos às estratégias de produção, os fluxos foram reconfigurados. Permitindo assim fluidez dos materiais e pessoas entre as etapas, com menor tempo e esforço para o deslocamento. Áreas foram delimitadas desde a matéria prima até estoque de produto acabado, oportunizando maior gestão e eficiência à planta.

As expectativas dos diretores foram atendidas, conciliando os ganhos operacionais com as adequações às normas vigentes de segurança do trabalhador e vigilância sanitária. Diante dos depoimentos dos colaboradores após a exposição deste estudo, pode-se obter informações relevantes como: o menor desgaste, devido à redução das movimentações desnecessárias, poderia ser convertidos em maior foco na qualidade e provável ganhos em produtividade.

Avaliando os resultados da nova proposta de *layout*, destacando a Figura 40, nota-se um ganho imediato na produção final, sendo um incremento de 15,38% em volume produzido semanal, migrando das 39 para 45 toneladas de produto acabado, provisionando esta

performance para o mês, será um aumento próximo das 24 toneladas. Outro indicador a se destacar é o de WIP, refere-se ao número médio em toneladas de produtos aguardando o processamento dentro do sistema, neste caso houve uma redução de 2,386 toneladas semanais, cerca de 30,89%.

Já sobre o aspecto da qualidade dos produtos, a empresa adota um sistema de inspeção entre as etapas, conforme citado anteriormente. Algumas desvantagens diretas são o julgamento tardio do lote e a subjetividade, pois os avaliadores são colaboradores do departamento da qualidade e estão propensos a fadiga e alterações psicomotoras. Apesar da assertiva decisão de julgar os itens a cada etapa, este método acarreta elevadas taxas de desperdícios por recusar lotes altamente customizáveis.

O sistema de inspeção desenvolvido neste estudo, demonstrou performance satisfatória para reduzir de forma direta os desperdícios com os lotes defeituosos. Pois, a partir de sua instalação, os operadores recebiam *feedbacks* a cada desvio do padrão, podendo executar ações de correção imediatamente. Outro potencial resultado obtido com este sistema está na anulação do critério subjetivo de julgamento do produto. Podendo gerar índices de confiança mínimos para cada tipo de cliente, a partir de suas exigências de qualidade.

Sobre os resultados quantitativos obtidos pelo sistema de visão voltado a inspeção. Pode-se observar uma variação de 39,18% na capacidade de detecção do modelo, este fato é explicado devido ao grande número de produtos produzidos pela empresa em estudo, apresentam variações drásticas de tamanho, cores, formatos e velocidade de processamento. Esta variação pode ser corrigida com a substituição da câmera, partindo para um sensor que apresente maior velocidade de leitura, porem destaca-se as questões de viabilidade financeira.

Discutindo o erro absoluto, o sistema obteve um valor médio de 4,4 pontos percentuais, conquistando uma avaliação bastante satisfatória, de forma complementar, significa afirmar que o modelo apresenta 95,6% de semelhança com o julgamento do departamento da qualidade da empresa. O tempo de processamento foi relativamente baixo, levando menos de 1 segundo para avaliar o item em produção, outro fator que contribui para a validação do sistema desenvolvido.

Outro resultado obtido foi a aceitação rápida dos colaboradores ao sistema de inspeção. Após as melhorias de *interface*, a utilização se tornou facilitada com um visual amigável. As rodadas de *feedbacks* constantes sobre a adequação da produção às especificações, forneceram respaldo aos impressores.

A soma dos resultados quantitativos junto aos qualitativos reflete de forma positiva no

fluxo de caixa da organização, visto que o maior volume produzido oportuniza um incremento no faturamento. De forma análoga, um menor estoque despende um menor capital imobilizado. Os resultados obtidos com a implementação do sistema de visão, unidos as expectativas da nova proposta de *layout* corroboram com a obtenção dos objetivos definidos para este estudo.

5.1 Impactos Gerenciais

Um aspecto importante é que a operação do sistema e os feedbacks de conformidade integrados em uma interface gerenciadora facilita a utilização do modelo de inspeção que, numa etapa posterior a este estudo, poderia ser implementado a todo o sistema de produção, permitindo resultados ágeis nos julgamentos dos produtos entre as etapas.

Outro ponto a ser destacado é o impacto direto nos indicadores de desempenho da organização, pois a implementação deste sistema em toda a cadeia irá permitir maiores índices de confiança no processo e uma redução significativa nas perdas por erro de operação,

Os ganhos advindos desta implementação podem ser vistos na desobstrução do departamento da qualidade, o que antes ocupava maior parte das horas disponíveis dos especialistas para inspeção dos produtos, agora poderá ser direcionado para desenvolver projetos de melhorias contínuas, *poka-yokes*, educação e treinamento, gerando um ambiente gradualmente profissionalizado e robusto.

Partindo para uma análise financeira, a implementação da nova proposta de *layout* foi orçada em aproximadamente R\$ 302.000,00. Contemplando os custos com as movimentações dos equipamentos, recuperação do piso, pintura, revisão estrutural dos galpões e atualização do sistema elétrico. Os ganhos diretos em incremento de produção e redução dos estoques irão fornecer um maior de faturamento, utilizado como base para a obtenção de um ROI (retorno sobre o investimento), de 13, 7 meses.

Ainda sobre a análise financeira, porém agora do sistema de inspeção. O custo total para a implementação do modelo foi de R\$ 5.000,00. Sendo R\$ 2.000,00 referentes a aquisição dos *hardwares* e R\$ 3.000,00 destinados ao serviço de programação. Estima-se que o funcionamento pleno deste sistema em todas as 6 etapas de produção, demandaria aproximadamente de R\$30.000,00. O ganho imediato com a implementação, fornece uma redução de aproximadamente R\$ 55.498,90 anuais nos custos de mão de obra da empresa. Gerando assim um retorno do investimento a partir do 7º mês de implementação.

Do ponto de vista do negócio, a ferramenta fornecerá uma resposta rápida para

correção dos itens em processamento, ampliando os índices de aproveitamento do produto final no cliente, garantindo a satisfação e contribuindo com o critério decisivo de escolha. Estima-se que todos esses fatores irão promover uma longevidade e lucratividade da companhia descrita neste estudo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, buscou-se a implementação de ferramentas advindas da Indústria 4.0. A fim de atender a problemáticas de ofertar possíveis melhorias no processo produtivo, em empresas de pequeno porte e com pouco capital para investimento. A seleção das ferramentas foi moldada a partir das necessidades da organização e da percepção técnica da Engenharia de Produção. Destacando atingir os objetivos no plano estratégico da organização, restrições orçamentárias e implementações sobre suporte científico.

O estudo resultou em uma proposta de um novo modelo de *layout* que promovesse além de todos os pontos elencados pela gestão da empresa, uma operação flexível em que o fluxo de operadores se adeque as oscilações de demanda, menor custo de transporte dos materiais em processamento, além de fornecer aos funcionários da empresa uma maior segurança e sensação de bem estar.

Os resultados obtidos por meio da simulação computacional quando comparados a proposta desenvolvida ao *layout* atual da empresa reportaram um aumento de mais de 15% no volume de produção semanal e uma redução de mais de 30% dos estoques intermediários, fato este que fornece a empresa um ganho direto em lucratividade e sendo fator decisivo para a decisão entre os Diretores da organização para implementação real na unidade a partir de setembro de 2021. Sobre o desenvolvimento de um Sistema de Inspeção com a implementação em *python*, da Visão de Máquina, pode-se verificar pelos resultados que o comportamento do modelo foi bastante promissor, mesmo sendo implementado com hardware de baixo custo.

Ainda sobre a Visão Computacional pode-se afirmar que tais implementações podem ser aplicadas nas mais diversas indústrias, melhorando os resultados dos processos e fornecendo a sociedade produtos de maior qualidade.

Uma oportunidade visualizada neste estudo está na confecção de um produto de Sistema de Inspeção Autônoma, através do aprimoramento do modelo criado e objetivando difundir a ferramenta para outras organizações, gerando assim um outro negócio e expansão dos benefícios da Indústria 4.0 na região.

Baseado em todos os pontos abordados, nos resultados oportunizados da nova proposta de *layout* e da validação das implementações em Visão Computacional deste estudo, pode-se concluir que as ferramentas indicadas irão contribuir diretamente com a unidade de negócio estudada e serão fatores proativos na obtenção da visão estratégica delimitada, além de ofertar a sociedade e principalmente aos gestores de indústrias de pequeno e médio porte um factível caminho de melhoria do processo.

7 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentre os principais desafios para a construção deste estudo destacam-se: a complexidade de um planejamento para uma reconfiguração de *layout*, devido aos grandes números de variáveis que por diversas vezes são conflitantes. O segundo, consiste na execução desta nova proposta de *layout* de forma a não gerar impactos ao processo. Utilizar possíveis intervalos, feriados e paradas planejadas para reposicionar os equipamentos, além de recuperar o piso da planta industrial se torna algo bastante desafiador.

Outra limitação visualizada neste estudo está ligada com a cultura reativa de alguns empresários da região. Iniciam melhorias e atualizações dos processos quando se deparam com queda nas vendas ou são forçados por novas legislações. Somado a este fator, está o orçamento destinado as melhorias, em sua maioria são escassos e impedem uma implementação de ruptura de performance.

Como sugestões para trabalhos que podem ser desenvolvidos por meio do desdobramento desta pesquisa, cita-se:

- Seleção de uma melhor câmera para obter maior detecção em nível de confiança;
- Ajustar o modelo para ser implementado nas demais etapas da empresa;
- Desenvolver um projeto com escopo e cronograma para implementação da proposta de *layout*.
- Melhoria do Sistema de Visão de Máquina a fim de criar um novo produto e que possa ser customizado pelos agentes do processo implementado;
- Utilizar heurísticas ou outras metodologias matemáticas para balancear o fluxo produtivo. Resultado obtido com a nova proposta de *layout* e flexibilizado a partir da polivalência dos colaboradores.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. E. M.; GONZAGA, D. R. B.; DOS SANTOS, F. J.; DE OLIVEIRA, J. F.; DE MORAIS OLIVEIRA, K. D.; FIGUEIREDO, L. M.; GONÇALVES, G. A. S. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 12, n. 12, p. 49-53, 2017.
- ALMEIDA, JANE & LOPES, RODRIGO. (2020). VISÃO COMPUTACIONAL APLICADA A GESTÃO DA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE ENGRENAGENS. **10.14488/ENEGEP2020_TN_WPG_342_1751_40097**.
- AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Agência Brasileira para Indústria 4.0: O Brasil preparado para os desafios do futuro**, 2021.
- ALVES, D. T. S.; MEDEIROS, J. L.; F. ARAÚJO, O. Q. F. Determinação ideal do *layout* da planta química através da minimização do risco para o público em geral usando Monte Carlo e técnicas de recozimento simulado. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 41 (maio): 202– 214, 2016.
- ALVES, E; SILVA, M. G.; BIANCHINI, V. U; SILVA, R, M. Melhorias de desempenho no processo de cromagem de peças aeroespaciais com aplicação do SLP. **Brasilian Journal of Production Engineering**, 5 (4) p. 97-112, 2019.
- ANJOS, M. F.; VIEIRA, M. V. C. Abordagens de otimização matemática para problemas de *layout* de instalações: o estado da arte e as direções de pesquisa futuras. **Jornal Europeu de Pesquisa Operacional**, 261 (1): 1–16, 2017.
- BANKS, J.; CARSON II, J.S.; NELSON, B.L. **Discrete-event system simulation**. 2. Ed New Jersey, Prentice hall, 1996.
- BARTON, R. F. A primer on simulation and gaming. **Englewood Cliffs**, New Jersey; Prentice-Hall, 1970.
- BATEMAN, R. E. *et al.* Sistemas de simulação: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2013.
- BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F. FRANCO. A. G. Ecossistemas de inovação da indústria 4.0: Uma perspectiva evolutiva sobre a cocriação de valor. **Science Direct**, v. 228, outubro de

2020.

BENBARRAD, Tajeddine *et al.* **Intelligent machine vision model for defective product inspection based on machine learning**. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, v. 10, n. 1, p. 7, 2021.

BLACK, J.T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Ed. Bookman, Porto Alegre, 2001.

CANEN, A. G.; WILLIAMSON, G. **Facility layout overview: towards competitive advantage**. *Facilities*; v. 16, n. 7, 1998.

CHASE, R. B.; AQUILANO, N. J.; JACOBS, F. R. **Administração da Produção para a vantagem competitiva**. Bookman, 2006.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos: teoria e aplicações**. 4o ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

CORIAT, B. **A revolução dos robôs**. São Paulo, Busca Vida, 1988.

DHONDT, S.; BENDERS, J. Missing links: Production structures and quality of working life in the clothing industry. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 18, n. 12, 1998.

DRATH, R.; HORCH, A. **Industrie 4.0: Hit or hype?** [industry forum]. **IEEE industrial electronics magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

EFSTATHIOU, J.; GOLBY, P. Application of a simple method of cell design accounting for product demand and operation sequence. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 12, n. 4, 2001.

ENGSTROM, T.; JONSSON, D.; MEDBO, L., The Volvo Uddevalla plant and interpretations of industrial design processes. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 9, n. 5, 1998.

FIRJAN, Panorama da Inovação; DA INOVAÇÃO, Panorama. **Indústria 4.0. Publicações FIRJAN: Cadernos SENAI de Inovação**, 2016.

GAVIRA, M. O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São

Paulo. 146f. São Carlos, 2003

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção: Mais do que simplesmente Just-In-Time.** EDUCS, 1ª Edição, 1996.

GHINATO, P. In: **Produção & Competitividade: Aplicações e Inovações**, Ed.: Adiel T. de Almeida & Fernando M. C. Souza, Editora Universitária da UFPE, Recife, 2000.

GONÇALVES, J. F.; RESENDE, M. G. C. Um algoritmo genético tendencioso de chave aleatória para os desiguais Problema de *layout* da instalação da área. **European Journal of Operational Research**. 246 (1): 86–107.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2001.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento digital de imagens**. 3. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HALL, D.J.; FORD, T.Q. **A quality approach to factory design?** **Industrial Management and Data Systems**, v. 98, n. 6, 1998.

HE, Yunze *et al.* **Infrared machine vision and infrared thermography with deep learning: a review.** **Infrared Physics & Technology**, v. 116, p. 103754, 2021.

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: final report of the industrie 4.0 working group.** Frankfurt: Federal Ministry of Education and Research, 2013.

KANNAN, V. R.; GHOSH, S. Cellular manufacturing using virtual cells. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 16, n. 5, 1996.

KUMAR, A.; MOTWANI, J. Case study: reconfiguring a manufacturing system for strategic advantage - a real-world application. **Logistics Information Management**, v. 11, n. 4, 1998.

LAE, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling and analysis**. 3 ed. Boston: McGraw-Hill, 2000.

LEE, Q. **Projeto de instalações e do local de trabalho**. São Paulo: IMAM, 1998.

- LEMOS, F.; FOGLIATTO, F. Implantação de *layout* tipo “U” na linha de produção de uma empresa de pequeno porte. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção** – Ouro Preto - MG. Anais, 2003.
- LI, L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of “Made-in-China 2025” and “Industry 4.0”. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 135, p. 66-74, 2018.
- LIAO, Y.; DESCHAMPS, F. LOURES, E. D. F. R.; RAMOS, L. F. P. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International journal of production research**, 55(12), 3609-3629.
- LIAO, T.; WARREN, L. J.; CHEN, Z. H. A comparison of two approaches for designing line type cellular manufacturing systems. **Integrated Manufacturing Systems**, v. 7, 1996.
- LIU, Chenang *et al.* Image analysis-based closed loop quality control for additive manufacturing with fused filament fabrication. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 51, p. 75-86, 2019.
- MAGRISE, M. A. **Melhorias de produtividade: um estudo de caso em uma indústria de tintas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000
- MARSH, R. F.; MEREDITH, J. R.; MCCUTCHEON, D. M. The life cycle of manufacturing cells, **International Journal of Operations and Production Management**, v. 17, n. 12, 1997.
- MONDEN, Y. **Produção sem Estoques uma Abordagem Prática ao Sistema de Produção da Toyota**, São Paulo, Instituto de Movimentação e Armazenagem de Materiais (IMAM), 1984 141 p.
- MUTHER, R.; WHEELER, J. D. Planejamento sistemático e simplificado de *Layout*. São Paulo: **IMAM**, 2000.
- MUTHER, R. **Planejamento do Layout: Sistema SLP**. São Paulo: Edgard Blucher, 1978.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 1997. 149 p.

PAIVA, A. **Organizações Empresariais Celulares**. São Paulo, Makron Books, 1999.

PATEL, Krishna Kumar *et al.* Machine vision system: a tool for quality inspection of food and agricultural products. **Journal of food science and technology**, v. 49, n. 2, p. 123-141, 2012.

PASCALE, Danny. RGB coordinates of the Macbeth ColorChecker. **The BabelColor Company**, v. 6, 2006.

PÉREZ-GOSENDE, Pablo; MULA, Josefa; DÍAZ-MADROÑERO, Manuel. Facility *layout* planning. An extended literature review. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 12, p. 3777-3816, 2021.

POLENGHI, A.; FUMAGALLI, L.; RODA, I. Role of simulation in industrial engineering: focus on manufacturing systems. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p.496–501, 2018. Elsevier B.V.

POZZEBON. B. **Proposta de modelo de simulação na indústria automotiva como ferramenta da indústria 4.0**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2020.

ROCHA, L.F. MOREIRA, P. AZEVEDO, A. Logística interna flexível baseada no sistema AGV: um estudo de caso. v. 43, e. 17, 2010.

SALIBY, E. Repensando a simulação: a amostragem descritiva. São Paulo: **Atlas**, 1989

SANTOS, H, I. Sistema de detecção de parafusos em placas de circuitos eletrônicos utilizando técnicas de visão computacional. Trabalho de conclusão de curso para Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande UFCG, Campina Grande, PB, 2017.

SARASWAT, A.; VENKATADRI, U.; CASTILLO, I. A framework for multi-objective facility *layout* design. **Computers & Industrial Engineering**, v. 90, p. 167-176, 2015.

SHA, D. Y.; CHEN, Chien-Wen. A new approach to the multiple objective facility *layout* problem. **Integrated Manufacturing Systems**, 2001.

SCHWAB, K. The fourth industrial revolution. **Crown Publishing Group**, New York, NY, 2016.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção**. Bookman Editora, 1996.

SKILTON, M. HOVSEPIAN, F. The 4th industrial revolution: responding to the impact of artificial intelligence on business. **Springer International Publishing AG**, Cham, 2017.

SLACK, Nigel *et al.* Administração da produção. São Paulo: Atlas, SLACK, N.8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018

SMITH, Melvyn L.; SMITH, Lyndon N.; HANSEN, Mark F. The quiet revolution in machine vision-a state-of-the-art survey paper, including historical review, perspectives, and future directions. **Computers in Industry**, v. 130, p. 103472, 2021.

STOCKTON, D. J.; LINDLEY, R. J. Implementing kanbans within high variety/low volume manufacturing environments. **International Journal of operations & production management**, 1995.

TOMPKINS, J. A., WHITE, J. A., BOZER, Y. A., & TANCHOCO, J. M. A. **Facilities planning**. John Wiley & Sons, 2010.

VERMULM, R. *et al.* Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil. 2018.

VIEIRA, D, R, A.; FRANCO, D. A indústria 4.0 contribuirá para o desenvolvimento do Brasil? **XLI Encontro Nacional de Engenharia de Produção** – Foz do Iguaçu - PA. Anais, 2021.

VIEIRA, G. E. Uma revisão sobre a aplicação de simulação computacional em processos industriais. **Simpósio de Engenharia de Produção, XIII, Bauru, Anais**, p. 1-10, 2006.

WALTER, A. **Um método de modelagem de sistemas de produção de serviços baseado no mecanismo da função produção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharias, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 249f. Porto Alegre, 2000.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. A máquina que mudou o mundo, 14. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

YANG, T.; SU, C. T.; HSU, Y. R. Systematic *layout* planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. **International Journal of Operations & Production Management**, 2000.

YANG, T.; SU, C.; HSU, Y. Systematic *Layout* Planning: a study on semiconductor wafer fabrication facilities. **International Journal of Operations Production Management**, v. 20, p.1359-1371, 2000.

ZHUN, X.; LIYUN, X.; XUFENG, L. An Improved Pigeon-inspired Optimization Algorithm for Solving Dynamic Facility *Layout* Problem with Uncertain Demand, **Procedia CIRP**, Volume 104, 2021.

APÊNDICE A - TELA DA FUNÇÃO “MAIN”

The screenshot displays the Thonny Python IDE interface. On the left, the code editor shows the following Python code for `main.py`:

```

1 import PySimpleGUI as sg
2 import layout
3 import cv2 as cv
4 import eventos_modelo as evtMod
5 import eventos_produto as evProd
6
7
8
9
10
11 # Carrega a interface gráfica
12 janela = layout.carrega_layout()
13
14 # Redimensiona o tamanho da imagem (um tamanho menor
15 camera_Largura = 240 # 320 # 480 # 640 # 824 # 1024 # 1280
16 camera_Altura = 180 # 240 # 320 # 480 # 780 # 960
17
18 # Indica a captura da webcam
19 captura = cv.VideoCapture(1)
20 #captura.set(3, camera_Largura)
21 #captura.set(4, camera_Altura)
22
23 # Tupla contendo as informações do tamanho da imagem
24 tamanhoFrame = (camera_Largura, camera_Altura)
25
26 # Indicadores de gravação (se True, o programa liga
27 grav_mod = False
28 grav_prod = False
29
30 bloqueia_chaves = True
  
```

On the right, the GUI application 'Controle de Produção' is running. It features a dark blue theme and includes the following elements:

- Modelo Section:** Contains a 'Procurar Modelo' label, a 'Procurar' button, a 'Captura' button, and an 'Imagem Modelo' label.
- Production Section:** Contains a 'Selecionar Produção' label, a 'Procurar' button, and two buttons: 'Selecionar Produto para Gravar' (orange) and 'Iniciar Varredura' (red).
- Parameters:** Includes sliders for 'Área Mínima' (set to 200), 'Altura da Detecção' (set to 1), and 'Confiança Mínima' (set to 0).
- Color Selection:** A 'Padrão' label with radio buttons for 'Vermelho' and 'Verde', and a 'Azul' label.
- Information Section:** A large text area labeled 'Informações de Processamento'.

At the bottom, the Shell window shows the execution command and a warning message:

```

Python 3.10.4 (C:\Users\Marcos André\AppData\Local\Programs\Python\Python310\python.exe)
>>> %Run main.py
[ WARN:081.183] global D:\a\opencv-python\opencv-python\opencv\modules\videoio\src\cap_msmf.cpp (639) "an
onymous_namespace::SourceReaderCB::~SourceReaderCB terminating async callback
  
```

The taskbar at the bottom shows the Windows taskbar with the Thonny application and the 'Controle de Produção' window open. The system tray shows the time as 22:44.

APÊNDICE B - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO SISTEMA

BUSCA PELAS IMAGENS

```
In [16]: img0 = cv2.imread("colorida.jpg")
img20 = cv2.imread("UFPE.jpg")

img = cv2.cvtColor(img0, cv2.COLOR_BGR2RGB)
img2 = cv2.cvtColor(img20, cv2.COLOR_BGR2RGB)

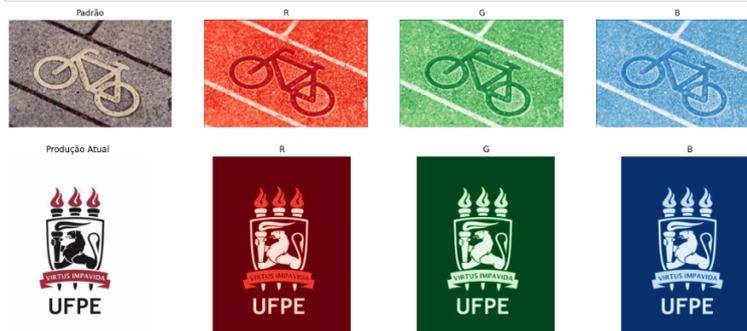
azul, verde, vermelho = cv.split(img)
azul2, verde2, vermelho2 = cv.split(img2)
```

DEMONSTRANDO AS IMAGENS

```
In [17]: #Imagem Padrão e seus canais em RGB
fig, ax = plt.subplots(1, 4, figsize = (20, 5))
ax[0].imshow(img)
ax[0].axis('off')
ax[0].set_title('Padrão')
for i, cmap in enumerate(['Reds', 'Greens', 'Blues']):
    ax[i+1].imshow(img[:, :, i], cmap=cmap)
    ax[i+1].axis('off')
    ax[i+1].set_title(cmap[0])

#Produção atual e seus canais em RGB
fig, ax = plt.subplots(1, 4, figsize = (20, 5))
ax[0].imshow(img2)
ax[0].axis('off')
ax[0].set_title('Produção Atual')
for i, cmap in enumerate(['Reds', 'Greens', 'Blues']):
    ax[i+1].imshow(img2[:, :, i], cmap=cmap)
    ax[i+1].axis('off')
    ax[i+1].set_title(cmap[0])

plt.show()
```



```
In [21]: for compare_method in range(4):
base_base = (cv2.compareHist(hist_base, hist_base, 0))
base_test1 = cv2.compareHist(hist_base, hist_test1, 0)

print('Metodo:', compare_method, 'Comparação Perfeita:', base_base)
print('A Semelhança das Imagens é de :', cv2.compareHist(hist_base, hist_test1, compare_method))
print('-----')
```

```
Metodo: 0 Comparação Perfeita: 1.0
A Semelhança das Imagens é de : 0.04535092885458394
-----
Metodo: 1 Comparação Perfeita: 1.0
A Semelhança das Imagens é de : 85.8810839027159
-----
Metodo: 2 Comparação Perfeita: 1.0
A Semelhança das Imagens é de : 1.8924420730254496
-----
Metodo: 3 Comparação Perfeita: 1.0
A Semelhança das Imagens é de : 0.7658653239166131
-----
```

RESPOSTA AO TESTE DE SEMELHANÇA BASEADO NA CONFIANÇA DESEJADA

```
In [22]: semelhanca = cv.compareHist(hist_base, hist_test1, 0)

if semelhanca*100 < Confiância :
    print ('FORA DO PADRÃO, " POIS A SEMELHANÇA É DE APENAS:", semelhanca*100, "%")
    fpadrao = fpadrao +1
    print('percentual de erros:', (fpadrao/ncapituras)*100, "%")
```

```
FORA DO PADRÃO POIS A SEMELHANÇA É DE APENAS: 4.535092885458393 %
percentual de erros: 100.0 %
```

