

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA – FEIS**

NATALIA PEREIRA GOBBO

**PROPOSTA DE MELHORIA NO LAYOUT DE UMA FÁBRICA DE MONTAGEM
DE EQUIPAMENTOS PARA MINERAÇÃO**



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha Solteira

NATALIA PEREIRA GOBBO

Proposta De Melhoria No Layout De Uma Fábrica De Montagem De Equipamentos Para Mineração

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.
Orientador: Prof. Dr. Wyser Jose Yamakami

ILHA SOLTEIRA – SP
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

G574p Gobbo, Natalia Pereira.
Proposta de melhoria no layout de uma fábrica de montagem de equipamentos para mineração / Natalia Pereira Gobbo. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2024
62 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2024

Orientador: Wyser Jose Yamakami

Inclui bibliografia

1. Otimização de processos. 2. Eficiência operacional. 3. Metodologia Lean.

NATALIA PEREIRA GOBBO

PROPOSTA DE MELHORIA NO LAYOUT DE UMA FÁBRICA DE MONTAGEM DE
EQUIPAMENTOS PARA MINERAÇÃO

TCC apresentada à Universidade Estadual Paulista UNESP, Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira - SP, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração:

Data da defesa: 12/12/2024

Nota obtida: 9,0

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 WYSER JOSE YAMAKAMI
Data: 12/12/2024 14:38:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wyser José Yamakami
UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 VICENTE AFONSO VENTRELLA
Data: 12/12/2024 21:06:15-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vicente Afonso Ventrella
UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 JOSE GEDAEL FAGUNDES JUNIOR
Data: 12/12/2024 14:45:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Gedael Fagundes Júnior
UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira

Dedico este trabalho inteiramente aos meus pais por serem uma constante fonte de motivação e incentivo ao longo de todo o projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais pelo suporte, dedicação e incentivo aos meus estudos ao longo dos anos. Também sou grata ao meu companheiro por me apoiar ao longo da graduação e por estar ao meu lado em cada etapa do processo.

RESUMO

A melhoria contínua é um conceito essencial em diversos campos, visando aprimorar produtos, serviços e processos de forma incremental para maximizar eficiência e qualidade, além da minimização de desperdícios. No contexto industrial, a configuração de áreas e equipamentos impacta diretamente a eficiência dos processos produtivos, exigindo atenção especial ao layout de instalações, como fábricas e armazéns. Um layout bem planejado otimiza o fluxo de materiais e pessoas, reduz custos e aumenta a competitividade. Este trabalho propõe o estudo e a criação de um novo layout para uma fábrica de montagem, com o objetivo de reduzir desperdícios em transporte e movimentação, aumentar a eficiência dos processos e diminuir os custos de fabricação. Com base na metodologia Lean, analisou-se os processos atuais, os fluxos de pessoas e materiais, além da simulação de novos arranjos, propondo a redução de deslocamento de empilhadeiras e funcionários. Os resultados indicaram melhorias significativas, incluindo uma redução de 77% na distância de movimentação externa e economia anual de 60,2% nos custos com empilhadeiras, além de diminuições na emissão de poluentes e no custo da mão de obra de fabricação de produtos. No layout interno, a distância para entrega de materiais foi reduzida em 72,6%, e o contrafluxo na montagem foi eliminado, aumentando a capacidade de produção e reduzindo o lead time. Conclui-se que a proposta para novos layouts contribuiu para uma produção mais ágil, com menos gargalos e maior competitividade, reforçando o compromisso com a melhoria contínua e a excelência operacional.

Palavras-chave: Otimização de processos, Eficiência operacional, Metodologia Lean

ABSTRACT

Continuous improvement is an essential concept in various fields, aimed at enhancing products, services, and processes incrementally to maximize efficiency and quality, as well as minimize waste. In the industrial context, the configuration of areas and equipment directly impacts the efficiency of production processes, requiring special attention to the layout of facilities, such as factories and warehouses. A well-designed layout optimizes the flow of materials and people, reduces costs, and increases competitiveness. This study proposes the development of a new layout for an assembly plant, with the goal of reducing waste in transportation and movement, increasing process efficiency, and lowering manufacturing costs. Based on Lean methodology, the current processes, material and personnel flows, as well as simulations of new layouts, were analyzed, proposing the reduction of forklift and employee travel distances. The results showed significant improvements, including a 77% reduction in external movement distance and an annual savings of 60.2% in forklift costs, as well as reductions in pollutant emissions and labor costs for product manufacturing. In the internal layout, the distance for material delivery was reduced by 72.6%, and the counterflow in assembly was eliminated, increasing production capacity and reducing lead time. It is concluded that the proposed new layouts contributed to a more agile production, with fewer bottlenecks and greater competitiveness, reinforcing the commitment to continuous improvement and operational excellence.

Key words: Process optimization, Operational efficiency, Lean methodology.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	OBJETIVO	15
3.	JUSTIFICATIVA	16
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
4.1.	Sistema Toyota de Produção	17
4.2.	<i>Lean Manufacturing</i>	18
4.3.	Melhoria Contínua	21
4.3.1.	Ferramenta 5's	21
4.3.2.	Kanban	22
4.3.3.	Diagrama de Espaguete	23
4.3.4.	5W2H	24
4.4.	Estudo de <i>Layout</i>	26
4.4.1.	<i>Layout</i> posicional	28
4.4.2.	<i>Layout</i> funcional	29
4.4.3.	<i>Layout</i> por produto	30
4.4.4.	<i>Layout</i> celular	30
4.4.5.	<i>Layout</i> misto	31
4.5.	Engenharia Industrial	32
5.	METODOLOGIA	35
5.1	Estudo Inicial	35
5.2.	<i>Layout</i> Externo	35
5.3.	<i>Layout</i> Interno	36
6.	RESULTADOS	37
6.1.	<i>Layout</i> Externo	39
6.2.	<i>Layout</i> Interno	48
7.	CONCLUSÃO	57
8.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	58
	REFERÊNCIAS	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do Sistema de Produção Toyota.	17
Figura 2 – Tipos de trabalho	19
Figura 3 – Kanban e suas características.	23
Figura 4 - Exemplo prático do Diagrama de Espaguete.	24
Figura 5 – Exemplo de layout posicional.	29
Figura 6 – Exemplo de arranjo físico funcional em uma biblioteca.	29
Figura 7 - Exemplo de layout em linha.	30
Figura 8 - Exemplo de layout celular.	31
Figura 9 - Exemplo de layout misto.	32
Figura 10 – Caminhão guindaste.....	36
Figura 11 – Mapa de identificação das áreas fabris.....	38
Figura 12 - Mapa de identificação das áreas fabris propostas.....	39
Figura 13 – Fluxo externo de entrega de peças entre o almoxarifado e as áreas fabris	40
Figura 14 – Mapa de identificação das entradas dos prédios fabris.....	40
Figura 15 – Mapa atual do jardim externo.....	43
Figura 16 – Proposta de layout para armazenamento de peças externas.....	43
Figura 17 - Proposta de realocação de peças	44
Figura 18 – Proposta de fluxo externo de entrega de peças entre o almoxarifado e as áreas fabris.....	45
Figura 19 – Estado atual do layout interno	48
Figura 20 – Rack metálico utilizado para entrega de peças	50
Figura 21 – Estado atual do fluxo de entrega de materiais armazenados no almoxarifado interno	50
Figura 22 – Proposta para layout interno.....	52
Figura 23 – Proposta de fluxo de entrega de materiais armazenados no almoxarifado interno.....	53
Figura 24 – Estado atual e proposta para teste do equipamento B	54
Figura 25 - Estado atual e proposta para soldagem do equipamento A	55
Figura 26 – Modelo 3D da proposta de layout interno.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – 5W2H	37
Tabela 2 – Distâncias medidas entre armazenamento e entrega das peças	41
Tabela 3 – Incidentes com empilhadeira.....	42
Tabela 3 – Distâncias medidas entre armazenamento e entrega das peças	46
Tabela 8 – Consumo de cilindros de GLP para transporte de peças	47
Tabela 9 – Custos de GLP	47
Tabela 4 – Quantidade de máquinas vendidas por modelo em 2023	49
Tabela 5 – Capacidade de içamento por departamento	49
Tabela 6 – Distâncias médias medidas entre almoxarifado interno e estações de trabalho	51
Tabela 7 - Distâncias propostas entre almoxarifado interno e estações de trabalho	53
Tabela 10 – Distâncias de movimentação e transporte internos.....	54
Tabela 11 – Custos de mão de obra para movimentação e transporte interno de peças	55

LISTA DE SIGLAS

AV	Agrega Valor
CAD	Computer Aided Design
CP	Contrapeso
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
NAV	Não Agrega Valor
P	Força Peso
PCP	Planejamento e Controle de Produção
PDCA	Plan-Do-Check-Act
STP	Sistema Toyota de Produção

1. INTRODUÇÃO

Impulsionada pelos avanços tecnológicos, globalização dos mercados e um aumento nas demandas dos consumidores, a competitividade industrial tem mostrado um crescimento exponencial nas últimas décadas. Dessa forma, as empresas encontram um cenário desafiador devido a busca por contantes melhorias em seus processos produtivos. Dentro deste contexto, a eficiência operacional e a segurança nas fábricas tornam-se elementos cruciais.

Com enfoque na produtividade, a eficiência operacional pode ser traduzida como a capacidade de maximizar a produção utilizando menos recursos (MOURA et al., 2019). Visando aprimorar a eficiência e a produtividade dos processos, de forma a destoar das empresas concorrentes, De Carvalho e Christ (2021) pontuam que a redução de perdas e desperdícios se mostra como um fator de importância. Para tal, muitas empresas utilizam ferramentas da Manufatura Enxuta, melhorando seus processos e alcançando resultados positivos.

A Manufatura Enxuta é uma filosofia amplamente reconhecida, responsável por capacitar as indústrias por meio dos princípios de melhoria contínua e da transformação da cultura organizacional (BHASIN e BURCHER, 2006). Fundamentada na eliminação sistemática de desperdícios, essa abordagem permite que as empresas otimizem seus recursos, melhorem a eficiência operacional e aumentem sua produtividade. Ademais, a promoção de processos mais ágeis e focados na geração de valor, essa filosofia contribui para uma resposta mais rápida e eficiente às flutuações de demanda dos clientes, contribuindo na busca por uma competitividade sustentável.

No contexto industrial, concomitante à busca por melhora produtiva, é imperativo que haja uma preocupação com a segurança nas fábricas, haja visto que ambientes industriais apresentam riscos inerentes capazes de resultar em acidentes, lesões ou até mesmo fatalidades. Dessa forma, a reformulação do ambiente de trabalho se mostra como uma possibilidade de ação. Para Emerique, Cardoso e Freitas (2011), um bom projeto para o ambiente de trabalho, por meio de um estudo de *layout*, se mostra benéfico às organizações, elevando a produtividade delas. Em conformidade a isso, Oliveira et al. (2017) apresentam que, com a otimização no *layout* físico, proporciona-se uma melhor eficiência nas operações produtivas, sendo evidenciado que, com o balanceamento adequado da linha de produção, pode-se reduzir os desperdícios.

Os layouts industriais, quando inadequadamente projetados, podem ocasionar diversos problemas no processo produtivo, incluindo ameaças à segurança dos trabalhadores, restrições que comprometem a eficiência operacional e impactos adversos no planejamento de custos. Propostas de melhorias de *layouts* envolvem a análise e integração de diversos fatores em um único local. Dessa forma, para garantir que o ambiente de trabalho será seguro e funcional, deve-se realizar

um planejamento do *layout* de forma a minimizar movimentações desnecessárias, reduzindo potenciais riscos físicos. e promovendo a melhoria contínua (FELIX et al., 2022). Além disso, o aproveitamento do espaço disponível deve ser máximo, realizando a alocação adequada de máquina e equipamentos, evitando a criação de áreas confinadas ou com potenciais riscos (FELIX et al., 2022).

O presente trabalho foi realizado em parceria com uma indústria multinacional do setor de mineração, visando estudar e propor melhorias no *layout* da fábrica de montagem. Alinhado aos princípios da manufatura enxuta, o projeto busca identificar e eliminar desperdícios associados à movimentação excessiva de trabalhadores e peças entre as estações de trabalho. Esse enfoque está em consonância com o conceito de melhoria contínua, que preconiza ajustes sistemáticos e progressivos nos processos produtivos, visando aumentar a eficiência operacional, reduzir custos e garantir a segurança dos colaboradores. Assim, espera-se que a mudança do layout contribua não apenas para a eficiência imediata dos processos, mas também para a implementação de um sistema de produção mais ágil, seguro e alinhado aos princípios da manufatura enxuta.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivos:

- Apresentar uma nova proposta de layout de uma fábrica de montagem de equipamentos para mineração;
- Otimizar fluxos de trabalho e materiais;
- Reduzir as movimentações dos trabalhadores e do transporte das peças entregues pelo almoxarifado;
- Eliminar contrafluxos entre processos;
- Aumentar a eficiência e a segurança.

3. JUSTIFICATIVA

Com o desenvolvimento simultâneo de diversas linhas de negócio e modelos de equipamentos na empresa analisada, observou-se um crescimento paralelo das infraestruturas físicas. No entanto, esse crescimento ocorreu de forma desorganizada, sem uma sincronização adequada entre as diferentes áreas, o que resultou em um layout fragmentado e em processos ineficazes. A falta de um planejamento estratégico na expansão das infraestruturas levou à ausência de integração entre os setores e à utilização subótima dos espaços e recursos disponíveis.

Diante desse cenário, e considerando a constante busca pela melhoria da eficiência dos processos e a necessidade de se manter competitivo no mercado, iniciou-se um debate sobre como identificar os pontos críticos que impactam a operação. Este debate gerou a busca por soluções eficazes, sendo o redesenho do layout uma das abordagens essenciais para otimizar o uso do espaço, melhorar a logística interna e promover uma maior integração entre as áreas, resultando em ganhos significativos de produtividade e redução de custos.

Ao diminuir as distâncias percorridas e reorganizar os espaços de trabalho, espera-se alcançar melhorias significativas em vários aspectos cruciais da operação fabril. Menores deslocamentos implicam em menos tempo gasto em tarefas não produtivas, permitindo que os operários possam se concentrar mais nas atividades de valor agregado. Além disso, a segurança dos processos é uma prioridade essencial, ao diminuir a movimentação desnecessária e organizar o espaço de forma mais lógica, é possível reduzir significativamente os riscos de acidentes de trabalho.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

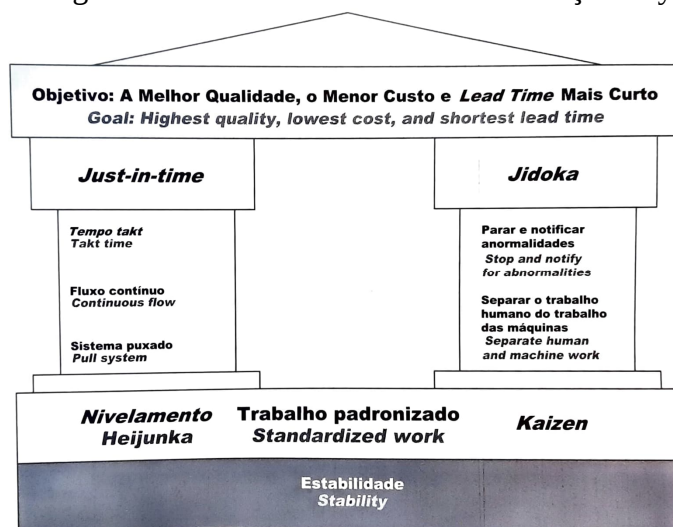
Ao longo dos anos, diversas abordagens foram desenvolvidas para melhorar a eficiência e nas organizações industriais. Nesse cenário, será discutido o Sistema Toyota de Produção (STP) um modelo inovador que transformou a forma como os processos produtivos são gerenciados.

4.1. Sistema Toyota de Produção

Após a Segunda Guerra Mundial, o Japão se encontrava em um período de reconstrução, completamente destruído após os bombardeios atômicos feitos pelos Norte Americanos. A situação de fragilidade enfrentada pela indústria e a economia do país, com escassez de mão de obra e recursos e baixo fluxo de capital fez com que o então presidente da Toyota, Eiji Toyoda e o engenheiro Taiichi Ohno buscassem um modelo de produção capaz de reerguer a fábrica japonesa, transformando-a em uma competidora no mercado internacional (TAICHII, 1988).

Para isso, criaram o STP, do inglês *Toyota Production System*, ou Sistema de Produção Toyota, juntamente com dois consultores norte-americanos que auxiliaram a reconstrução da indústria japonesa, Joseph Juran e W. Edwards Deming (JURAN, 2004). Esse modelo administrativo revolucionou a indústria automotiva e, em oposto ao Fordismo, o STP não era baseado em produção em massa, mas sim na produção enxuta, trabalhando com o mínimo de recursos, visando melhor qualidade, menor custo e *Lead Time* (tempo total entre início e fim do processo) mais curto, buscando a redução de desperdícios, eliminação de retrabalho e, ao mesmo tempo, o constante senso de responsabilidade e motivação entre os trabalhadores (LIKER, 2004). O STP possui dois pilares, o *Just In Time* e o *Jidoka*, conforme mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura do Sistema de Produção Toyota.



Fonte: NARUSAWA; SHOOK, 2009.

O *Just In Time* é um sistema de produção que fabrica apenas o necessário, na quantidade necessária e no instante que é necessário – sendo esses definidos pelo cliente. Baseia-se no nivelamento e pode ser subdividido em três conceitos: o tempo *takt*, o fluxo contínuo e o sistema puxado. O primeiro é o tempo disponível para produção dividido pela demanda do cliente. Já o fluxo contínuo é um conceito criado por Henry Ford e consiste na movimentação de itens entre etapas de acordo com o tempo *takt* e sem espera entre processamentos. Por último, o sistema puxado é o elemento que fortalece a filosofia *Just In Time* e significa fornecer apenas o necessário ao processo subsequente, no momento necessário e na quantidade necessária (NARUSAWA; SHOOK, 2009).

O segundo pilar, o *Jidoka*, é uma expressão japonesa que significa “automação com toque humano” e se fundamenta no fornecimento à trabalhadores e máquinas de capacidade de detectar desvios e cessar imediatamente, evitando a disseminação de defeitos e redução de eficiência (NARUSAWA; SHOOK, 2009).

Uma das bases da filosofia STP é o conceito *Heijunka* que se resume ao nivelamento da quantidade e variedade de itens a serem produzidos em um determinado período. Tem como meta o aumento da eficiência, eliminação de lotes e redução de custo e *lead time*, eliminando a variabilidade da produção, tornando-a mais “plana” e previsível. Outra base é o Trabalho Padronizado, que se funda na determinação exata de procedimentos levando em consideração o tempo *takt*, a sequência de trabalho e estoque padrão. Se aplica para processos repetidos e recorrentes e, novamente, visa a redução máxima de desperdícios. A terceira base é chamada de *Kaizen* e refere-se à constante busca pela melhoria. Juntas, as três bases sustentam os pilares do Sistema de Produção Toyota, garantindo a estabilidade da produção e vitalidade do sistema de manufatura (NARUSAWA; SHOOK, 2009).

O refinamento contínuo dos métodos e ferramentas desenvolvidos, culminou na criação de uma abordagem, amplamente reconhecida e adotada em escala global: o *Lean Manufacturing*, ou Manufatura Enxuta. Essa metodologia emergiu como uma resposta às demandas crescentes por eficiência, flexibilidade e redução de desperdícios nos sistemas produtivos, sendo aplicada não apenas no setor de manufatura, mas também em diversos outros segmentos industriais (ARAÚJO et al., 2022). O *Lean Manufacturing* consolidou-se como um padrão de excelência, guiando organizações na busca por processos mais enxutos, sustentáveis e orientados à criação de valor, refletindo a evolução e o impacto duradouro da engenharia industrial no ambiente empresarial.

4.2. *Lean Manufacturing*

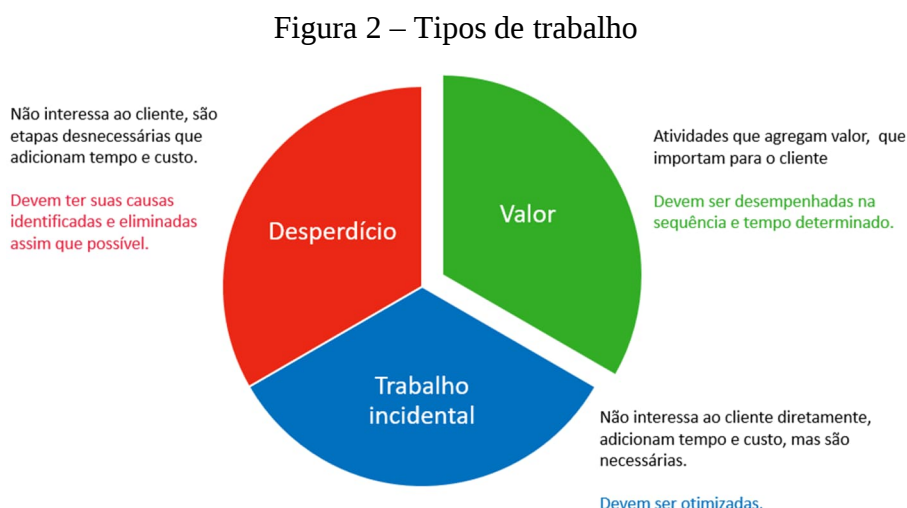
O termo *Lean* foi disseminado pelo livro *The Machine that Changed the World* (Womack et al., 1990) e detalhado em *Lean Thinking* (Womack et al., 1996). É possível relacionar todos os

pilares com a constante busca pela redução ou eliminação de desperdícios. Segundo Taiichi Ohno (1998) os sete maiores desperdícios encontrados em qualquer local de trabalho são:

- Superprodução: produzir mais ou mais depressa do que o necessário, o produto deve ser fabricado de acordo com a procura do cliente;
- Espera: Trabalhador ocioso;
- Movimentação: deslocamento do operador, geralmente dentro da própria estação de trabalho;
- Transporte: deslocamento de peças ou matéria prima entre processos ou áreas de fabricação;
- Superprocessamento: processamento incorreto ou desnecessário, ocorre quando o produto passa por mais operações e detalhamento do que o cliente exige;
- Estoque: armazenamento desnecessário;
- Correção: necessidade de inspeção ou retrabalho.

Posteriormente, foi considerado um oitavo desperdício, a perda de capital intelectual que consiste no subuso de talentos e habilidades. Visando mitigar desperdícios, estabelece-se cinco princípios fundamentais dentro da filosofia do *Lean Manufacturing*, os quais oferecem uma estruturação clara das ações necessárias para uma empresa tomar na busca de seus objetivos. Ao segui-los as empresas podem identificar e eliminar as atividades que não agregam valor e melhorar a qualidade dos produtos e eficiência de seus processos.

Para um melhor entendimento, é preciso definir o conceito de valor. É possível dividir o trabalho em duas categorias: os que agregam valor (AV) e os que não agregam valor (NAV), como mostrado na Figura 2.



Fonte: Própria autoria

Aqueles que agregam são os que efetivamente geram mudança no produto, o qual o cliente está disposto a pagar. Já os que não agregam é qualquer atividade que consome mão de obra, recurso e tempo sem alterar o produto ou criar valor ao cliente e pode ser subdividida em trabalho incidental ou NAV necessária, que são atividades que não podem ser eliminadas, mas devem ser otimizadas; e as NAV desnecessárias, também conhecidas como desperdício e que devem ter suas causas identificadas e eliminadas (WOMACK; JONES, 1996).

Dessa forma, Womack e Jones (1996) definem os cinco princípios do *Lean Manufacturing* como:

- Valor (Value): O valor de um produto é definido pela perspectiva do cliente final, e não da empresa, o que o cliente se dispõe a pagar é considerado valor e tudo aquilo que não agrega valor ao cliente, desperdício. Para tal, é essencial que o produto apresente as características que atendam a demanda do cliente, com um preço e prazo específico a ele.
- Fluxo de Valor (Value Stream): O fluxo de valor contempla todas as atividades necessárias para levar um produto desde a matéria prima até a entrega ao cliente, tanto as que agregam valor quanto as que não agregam. O objetivo é a criação de um fluxo otimizado, mitigando desperdícios por meio do mapeamento de todo o processo de produção para identificar e eliminar etapas que não agregam valor.
- Fluxo Contínuo (Flow): Um fluxo contínuo significa a continuidade do trabalho de maneira fluida e suave, sem gargalos ou interrupções nas etapas de produção. Seu uso proporciona uma redução no tempo de espera e um melhor controle de estoque, permitindo uma produção de acordo com a demanda.
- Produção Puxada (Pull): A produção puxada é o método de controle que visa eliminar a produção em excesso, sendo acionada pela demanda real do cliente ao invés de ser baseada em previsões.
- Perfeição (Perfection): O conceito de perfeição atrela-se à uma busca contínua por melhorias em todos os processos produtivos, sempre havendo um esforço para eliminação de desperdícios. A premissa é de que, mesmo um processo bem estruturado e aparentemente otimizado, sempre há oportunidades para melhoria. Esse processo envolve todos os níveis organizacionais, instigando a atuação dos funcionários na identificação e busca pela solução de problemas. Dessa forma, ferramentas como PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) e *Kaizen* (melhoria contínua) ascendem como uma forma de promover esse conceito.

Ikezeri et al. (2020) apresentam um estudo da aplicabilidade do *Lean Manufacturing* em conjunto com a Indústria 4.0. Para os autores, mesmo com suas origens em períodos e contextos distintos, os conceitos são complementares, de forma a aprimorar a eficiência e valor da indústria. Enquanto o *Lean* visa reduzir desperdícios e elevar a eficiência voltada para o cliente, a Indústria 4.0, impulsionada pela Quarta Revolução Industrial, incorpora tecnologias como IoT e inteligência artificial, almejando uma produção mais conectada e automatizada. A integração entre esses modelos permite que empresas com uma cultura *Lean* explorem os benefícios das tecnologias adequadamente. O *Kaizen* complementa o *Lean Manufacturing* e a Indústria 4.0 ao promover ajustes constantes nos processos, com foco na eliminação de desperdícios e na criação de valor. Essa abordagem potencializa a integração entre cultura *Lean* e tecnologias avançadas, impulsionando a eficiência e a adaptação organizacional.

4.3. Melhoria Contínua

Originado no Japão, o termo *Kaizen* é composto por duas palavras “*Kai*” (mudança) e “*Zen*” (virtude), implicando em uma filosofia que busca constantemente a mudança para o melhor, sendo essa filosofia compreendida como o conceito de Melhoria Contínua, a qual apresenta ferramentas práticas que visam a redução de desperdícios e melhora na eficiência.

4.3.1. Ferramenta 5's

Uma das primeiras ferramentas criadas para resolução dos desperdícios supracitados foi o sistema 5'S', a base do *Kaizen*. Embasa-se na ideia de que a organização, a limpeza e a autodisciplina são capazes de aumentar a eficiência, produtividade e bem-estar dos trabalhadores e é composto por cinco conceitos (ROSAS, et al., 2010.):

- *Seiri* ou utilização: separar entre necessário e desnecessário, descartando o segundo;
- *Seiton* ou organização: identificar e organizar os itens na sequência de uso e consumo, facilitando a localização;
- *Seiso* ou limpeza: manter o ambiente limpo e descartar as causas da sujeira;
- *Seketsu* ou padronização: uniformização e normalização dos processos anteriores;
- *Shitsuke* ou disciplina: manter os primeiros 4'S'.

A aplicabilidade da metodologia 5'S é diversa, podendo se estender desde atividades cotidianas até estruturas mais complexas, como estabelecimentos e células produtivas. Em um

cenário industrial, Carvalho (2021) estuda a aplicação do 5'S voltada para uma unidade de prototipagem. O trabalho aborda uma estratégia voltada para o estabelecimento de prazos máximos para execução de processos, identificação de itens desnecessários, identificação visual dos materiais utilizados e uma revisão das movimentações. Os resultados obtidos pela autora demonstraram a utilidade do 5'S, provendo melhorias nas condições de trabalho, redução de desperdícios e movimentações.

Em Corrêa e Costa (2023), essa filosofia foi colocada em prática no gerenciamento dos processos de uma cafeteria que, em conjunto com outra ferramenta, o Kanban, trouxe resultados positivos na gestão de estoque, promovendo melhorias na organização e redução de desperdícios. Para otimizar o armazenamento e garantir organização e limpeza, foi elaborado um layout eficiente, utilizando separações em níveis para facilitar a visualização pelos funcionários, e implementamos a abordagem 5S, com foco na autodisciplina para manter e aprimorar as práticas.

4.3.2. Kanban

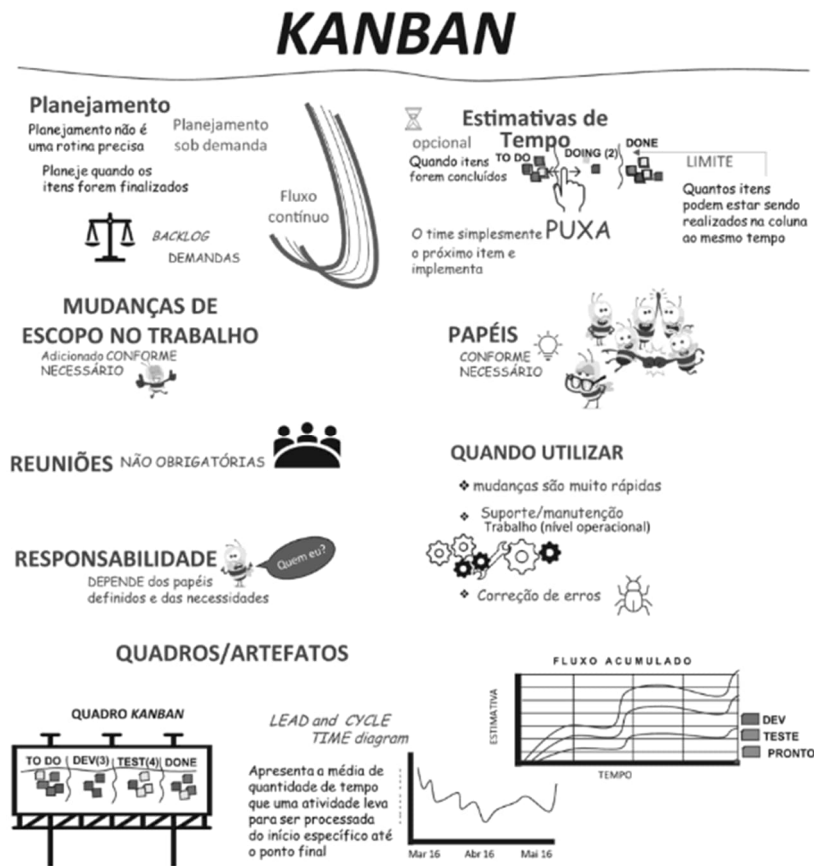
Com origem na empresa Toyota e vindo do sistema *Just in Time*, o sistema Kanban, que significa “sinalização” ou quadro de sinais, trouxe consigo a possibilidade de melhorias nos processos por meio da gestão visual (CORRÊA e COSTA, 2023; ROCHA e SOUSA, 2021). De acordo com Chiroli e Crozatti (2016), a função do Kanban pode ser sintetizada no incentivo a participação ativa dos colaboradores na área, servir como um meio de controle das informações, atuar no gerenciamento de estoques, e definir claramente as responsabilidades dos funcionários.

Com sua flexibilidade de aplicação, o Kanban pode ser adaptado a diferentes contextos organizacionais, indo além do chão de fábrica e abrangendo setores administrativos, áreas de desenvolvimento de produtos e até mesmo equipes de tecnologia da informação. Essa versatilidade permite que organizações de variados segmentos adotem o método para otimizar fluxos de trabalho, reduzir desperdícios e aumentar a eficiência. Outro ponto de destaque é sua capacidade de atuar como um elo entre diferentes níveis hierárquicos da organização, promovendo uma comunicação mais clara e ágil entre equipes operacionais, táticas e estratégicas.

Com metas de desempenho visíveis, o Kanban se torna uma poderosa ferramenta de motivação, fomentando o comprometimento dos funcionários para alcançar os objetivos propostos. Ao tornar as tarefas e os resultados tangíveis e acessíveis, o método não apenas incentiva a inovação e a busca por melhorias contínuas, mas também promove um ambiente de trabalho colaborativo e transparente. Além disso, o Kanban simplifica os métodos de trabalho ao reduzir complexidades desnecessárias e melhorar a priorização de atividades. Por meio de sua gestão visual eficiente, a ferramenta pode facilitar o alinhamento entre equipes, a tomada de

decisões mais informadas e a antecipação de possíveis problemas. A Figura 3 apresenta abordagens do sistema Kanban e suas características.

Figura 3 – Kanban e suas características.



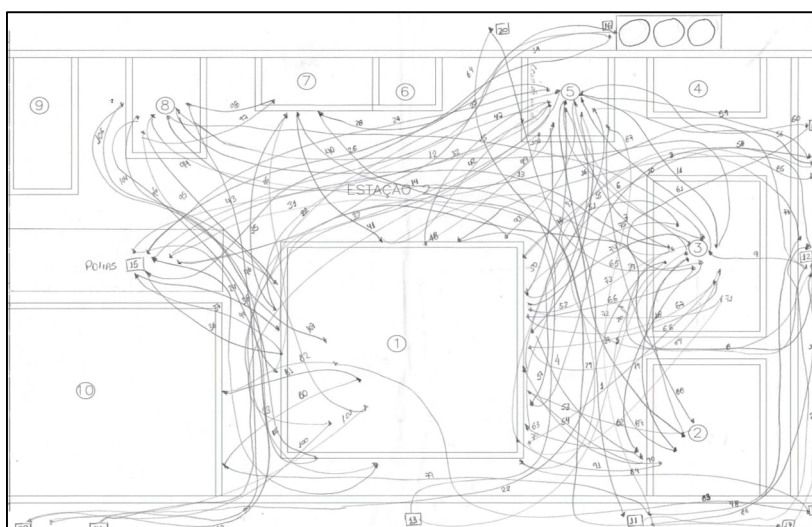
Fonte: MUNIZ et al., 2021.

4.3.3. Diagrama de Espaguete

Outra ferramenta que teve sua origem no *Lean* é o Diagrama de Espaguete que consiste em desenhar a distância percorrida por pessoas, equipamentos e materiais ao longo de um fluxo de trabalho (NOVAIS et al., 2021). O diagrama mapeia as rotas e esforços necessários, possibilitando a visualização de dois desperdícios já abordados, o transporte e a movimentação (VAZ, FERNANDES, 2023). Permite também, de forma prática, a detecção de problemas antes não identificados e oportunidades de melhoria. Por esses motivos, este diagrama é um eficiente método de análise nas mudanças de layout que visam um aumento de eficiência e produtividade, seja de uma estação de trabalho ou de uma fábrica como um todo, reduzindo deslocamentos e criando um fluxo único de trabalho (Lean Enterprise Institute, 2003).

O primeiro passo na construção de um diagrama de espaguete é o levantamento da planta atual detalhada da fábrica, contemplando os principais pontos de análise, como estações de montagem e estoques. Em sequência, são traçados a movimentação de máquinas e pessoas entre os pontos levantados, diferenciando em traço ou cor um ao outro (AMARAL, 2020). Por meio do tempo e distância percorridos, a análise do diagrama é de importância para observação dos pontos de melhoria de movimentos e áreas sem eficiência para os processos desempenhados (NOVAIS et al., 2021; AMARAL, 2020). A Figura 4 apresenta um exemplo de Diagrama de Espaguete para estações de montagem em uma indústria.

Figura 4 - Exemplo prático do Diagrama de Espaguete.



Fonte: Própria autoria.

4.3.4. 5W2H

Complementar ao diagrama de espaguete, Cardoso et al. (2024) apresentam a ferramenta de gestão 5W2H, a qual estrutura-se na realização de perguntas objetivando obter respostas que organizem as propostas, garantam visibilidade das etapas de um processo e esclareçam o problema em questão (SANTOS FILHO, 2021). Esta ferramenta teve seu início no Japão como um produto do ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*), com foco no planejamento e gestão, de modo a facilitar tomadas de decisões (LOBATO, SANTOS, 2023; PRADO et al., 2021).

- **O quê? (What):** Neste ponto, descreve-se claramente a ação ou o conjunto de ações a serem realizadas, indicando o que precisa ser feito e qual é o objetivo final. Aqui, detalha-se o estado atual e a situação desejada após a conclusão do projeto (SANTOS FILHO, 2021).

- **Por quê? (Why):** Esta questão aborda os motivos para a realização das ações propostas. Ela explica as razões, apontando as causas de problemas e as vantagens esperadas, como aumento de eficiência ou redução de custos (PRADO et al., 2021; SANTOS FILHOS, 2021). Justificar o “Por quê” auxilia a compreensão da importância do projeto e ajuda a obter o apoio de todas as partes envolvidas.
- **Onde? (Where):** Este tópico define o local ou contexto em que o projeto será aplicado (LOBATO, SANTOS, 2023). Pode ser uma área específica, um departamento, ou até a empresa como um todo, dependendo da abrangência do plano (SANTOS FILHO, 2021).
- **Quando? (When):** Estabelece-se aqui o cronograma para a execução do plano, incluindo as datas de início e término de cada fase e do projeto como um todo (CARDOSO et al., 2024). Dividir o prazo em etapas intermediárias permite monitorar o andamento e ajustá-lo conforme necessário, evitando atrasos e mantendo o projeto no ritmo certo.
- **Quem? (Who):** Este ponto define claramente as pessoas ou equipes responsáveis pela coordenação e execução das ações (CARDOSO et al., 2024). Atribuir responsabilidades é fundamental para garantir que todos saibam exatamente qual é o seu papel e possam colaborar de maneira eficaz, facilitando a supervisão e a comunicação entre as partes envolvidas (SANTOS FILHO, 2021).
- **Como? (How):** No “Como” são detalhados os procedimentos e métodos que serão adotados. Descrevem-se os passos para a implementação das ações, com critérios de qualidade e métricas de avaliação (SANTOS FILHO, 2021). Isso ajuda a garantir que o projeto seja realizado de forma eficiente e que o objetivo final seja alcançado com o padrão esperado.
- **Quanto? (How Much):** Por último, realiza-se uma estimativa dos custos associados ao projeto, incluindo gastos com materiais, mão de obra e outros recursos necessários (LOBATO, SANTOS, 2023). Essa avaliação permite analisar a viabilidade financeira do projeto e, se necessário, ajustar o escopo para otimizar o uso dos recursos disponíveis.

Com enfoque na análise da sustentabilidade de uma indústria de bebidas, Freitas et al. (2009) apresentam a ferramenta 5W2H aplicada na gestão ambiental. O trabalho desenvolvido se baseia na realização de um questionário dividido nos critérios considerados relevantes, refletindo o desempenho em categorias com base no desempenho percentual. Com base nos resultados, foram elencadas as prioridades para a empresa e elaborado um plano de gestão com o uso do 5W2H, definido pelos autores como uma metodologia capaz de gerar melhorias na sustentabilidade ambiental que apresentava pontos de melhoria.

Em Lisboa e Godoy (2012) é descrito a aplicação da metodologia 5W2H no processo produtivo de joias em uma empresa localizada no Rio Grande do Sul, sendo evidenciadas as etapas e responsabilidades de cada fase. Com o uso do 5W2H, todas as etapas do processo produtivo foram planejadas e analisadas, desde a reunião inicial entre o designer e o ourives até o acabamento e embalagem das peças. Os autores conseguiram não apenas identificar a importância de cada tarefa, os profissionais envolvidos, a sequência lógica, e os custos associados, como também as dificuldades e limitações. Dessa forma, a metodologia empregada com o 5W2H se mostrou essencial para identificar melhorias potenciais e reconhecer os pontos limitantes que precisam de intervenção para otimizar o processo de produção de joias.

O Kaizen e as ferramentas citadas são essenciais para identificar e implementar mudanças que visam otimizar processos. Nesse contexto, os tipos de layout produtivo desempenham um papel crucial, pois influenciam diretamente o fluxo de trabalho, a eficiência operacional e a competitividade de custos. Ao alinhar o conceito de melhoria contínua com o layout mais adequado é possível criar ambientes produtivos mais organizados, flexíveis e eficientes, maximizando os benefícios das ferramentas e filosofias aplicadas.

4.4. Estudo de *Layout*

Dado o impacto positivo das ferramentas *Lean* na otimização de processos, o próximo passo envolve o estudo do *layout*, cuja análise permite aprimorar o fluxo de trabalho e maximizar a eficiência do espaço produtivo. O arranjo físico (*layout*) pode ser definido como a disposição dos recursos de transformação, ou seja, maquinários, equipamentos e colaboradores, definindo, também, a forma operacional que os recursos circulam (Slack et al, 2002). Uma organização estratégica dos recursos garante uma otimização do espaço utilizado, maior agilidade nos processos e evita desperdícios desnecessários.

Segundo Lee (1998), a análise dos processos assume importância para a empresa por proporcionar uma visão mais detalhada das operações associadas ao processo fabril. Esta análise pode ser realizada com auxílio de ferramentas como cartas de processos, fluxogramas e mapa-fluxogramas, de forma a garantir conformidade do arranjo físico com as necessidades individuais de cada processo.

Ainda, para Lee (1998), o planejamento de espaço pode ser dividido em cinco níveis, partindo de uma visão geral até uma mais detalhada, sendo eles:

1. Global: definição da localidade das instalações e determinação da missão da empresa;

2. Supra-espço: planejamento da infraestrutura da planta de produço, como nmero e tamanho dos prdios;
3. Macro-espço: prevê o planejamento da estrutura da instalao, determinando o fluxo geral de materiais;
4. Micro-espço: definio das localizaes de equipamentos ou mveis em um setor ou departamento;
5. Sub-micro-espço: o foco sã os operrios, sendo planejadas as estaes de trabalho visando eficiêcia e segurana.

Com foco na proposta de melhoria de layout de uma empresa metalrgica, Silva (2020) apresentou uma metodologia baseada em visitas *in loco* e entrevistas, a fim de entender os processos e seus pontos de melhoria. Com auxlio do diagrama de espagete a autora identificou os tempos de movimentao e as distncias percorridas, apontando pontos de melhoria nos deslocamentos para aquisio de matria prima, peas no almoxarifado e atividades pessoais.

Dessa forma, Silva (2020) propõe um novo modelo a partir da abertura de vias de acesso e uma realocao do estoque de mterias primas e das mquinas e equipamentos. Concomitante a implantao do novo *layout*, a proposta apresentada inclui a adoo de um programa 5S, a fim de obter um ambiente mais seguro e com menos desperdcios, além de mais adequado às Normas Regulamentadoras.

De Sá (2020) elaborou um trabalho objetivando o uso dos princpios e ferramentas *Lean* em uma indústri de confeco. A autora propôs uma metodologia com a anlise de um indicador de produtividade e na seqncia e propôs-se um novo *layout* do setor analisado em conjunto com um diagrama de espagete para o estudo dos fluxos nos processos, posteriormente sendo implementado o novo *layout* e avaliado por meio do indicador de desempenho. A estruturao do estudo desenvolvido demonstrou as possibilidades que o *Lean* apresenta para anlise e melhoria do desempenho nas empresas, sendo obtida uma reduao de desperdcio de at 36% no caso estudado.

Por sua vez, Vaz (2023), apresenta um estudo voltado à reorganizao do *layout* de produtos e docas em um centro de distribuio. Por meio de entrevistas e do levantamento dos dados no sistema da empresa, o autor os fluxos e perfis de carga expedidas. Com uso do diagrama de espagete, foi possvel mapear as dificuldades de cada processo e dos operadores, sendo sucedido pelo mapa de valor com as distncias percorridas e tempo gasto, evidenciando o desperdcio por movimentao.

A proposta de melhoria apresentada por Vaz (2023) contempla a reestruturao do *layout* com o objetivo de reduzir as distncias percorridas pelas empilhadeiras e, assim, otimizar a

movimentação interna dos materiais. O novo modelo agrupou as ruas de acordo com os produtos e readequou as docas para uma otimização do recebimento e expedição destes, proporcionando reduções tanto na expedição quanto no recebimento. A análise conclui que a otimização correta de layout pode reduzir movimentações desnecessárias, resultando em menor desgaste dos equipamentos, redução de custos operacionais e aumento da produtividade.

Guimarães e Grander (2024) apresentaram um estudo voltado para elaboração de uma proposta de *layout* visando a eliminação de desperdícios e aumento da eficiência nos processos de uma pizzeria. Para tal, os autores abordaram uma metodologia voltada para campo, investigando e coletando dados *in loco* por meio de entrevistas e visitas. Com os dados coletados, foram elaborados um gráfico de fluxo e diagramas de espaguete, para o *layout* vigente naquele momento e o proposto, o qual contemplava a reorganização das bancadas de trabalho e retirada do balcão. A partir dos diagramas de espaguete, foi possível observar que os a alteração de *layout* apresentou resultados significativos quanto a distância percorrida, reduzindo o desperdício por movimentação.

Similarmente, Cardoso et al. (2024) elaboraram uma proposta de mudança de *layout* para um restaurante familiar com o uso do diagrama de espaguete. Com base na planta da microempresa e na aproximação que os autores tiveram com a equipe por meio de visitas diárias, foi realizado um estudo com a elaboração de diagramas de espaguete. Após a análise do diagrama, foram propostas melhorias no *layout* separando a cozinha em duas linhas de produção, obtendo uma significativa redução esperada nas distâncias percorridas.

Dentre as possibilidades, Slack et al. (2002) apresentam quatro tipos básicos de arranjos físicos, que definem a grande maioria dos arranjos físicos elaborados, sendo eles o *layout* posicional, funcional, por produto e celular.

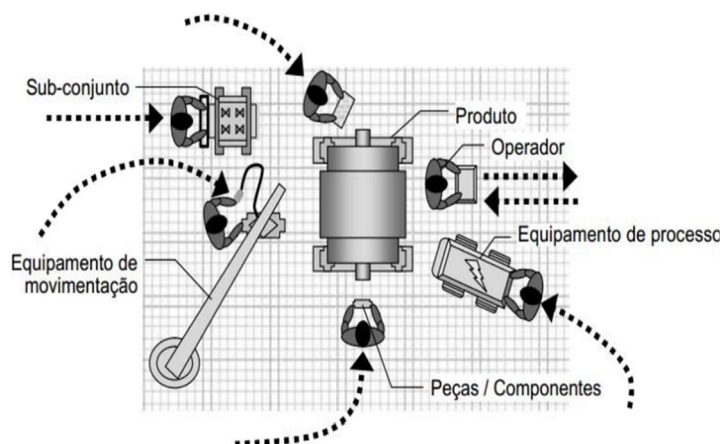
4.4.1. Layout posicional

No *layout* posicional, o recurso transformado permanece estacionário, a movimentação ocorre por parte dos recursos transformadores, se ajustando conforme a necessidade do processo. Esse arranjo é comumente utilizado para casos em que o produto fabricado é muito grande, ou delicado, para ser movido, como exemplo a indústria naval, aeronáutica e de construção civil (canteiro de obras). A Figura 5 apresenta um exemplo para o caso, na qual o produto permanece no centro da operação e os recursos transformadores se movimentam no processo produtivo.

De acordo com Peinado e Graeml (2007), ao utilizar esse arranjo, possibilita-se a terceirização do projeto, total ou parcial, a depender da complexidade e prazos estipulados. No entanto, ele traz consigo uma maior complexidade de logística interna, para que haja uma alocação

assertiva de materiais e funcionários, muitas vezes sendo necessário a construção de galpões para os materiais e ferramentas e abrigos para os funcionários.

Figura 5 – Exemplo de layout posicional.

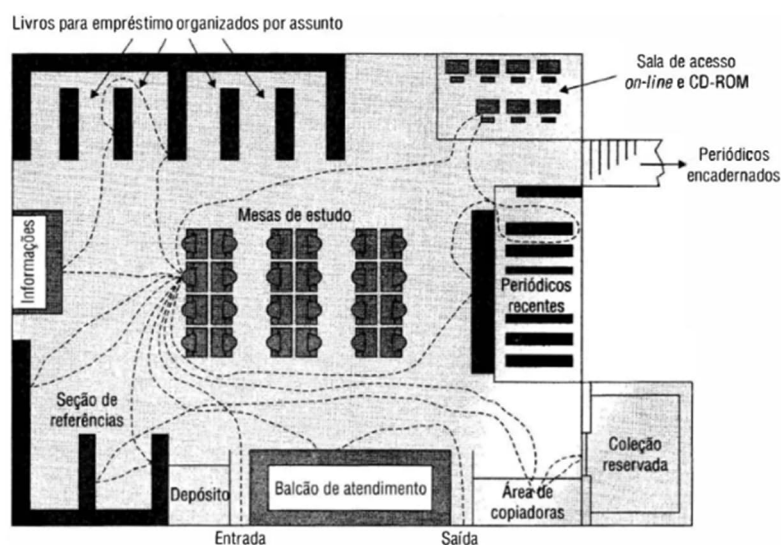


Fonte: De Azevedo, 2016.

4.4.2. Layout funcional

O arranjo físico funcional, ou por processo, é estruturado de forma a agrupar os processos e equipamentos que apresentam uma mesma, ou similar, funcionalidade (PEINADO e GRAEML, 2007). O fluxo de produtos pela operação se dá de atividade a atividade, adaptando-se à necessidade do processo, de forma que diferentes produtos, com diferentes necessidades, percorrerão fluxos distintos (SLACK et al., 2002).

Figura 6 – Exemplo de arranjo físico funcional em uma biblioteca.



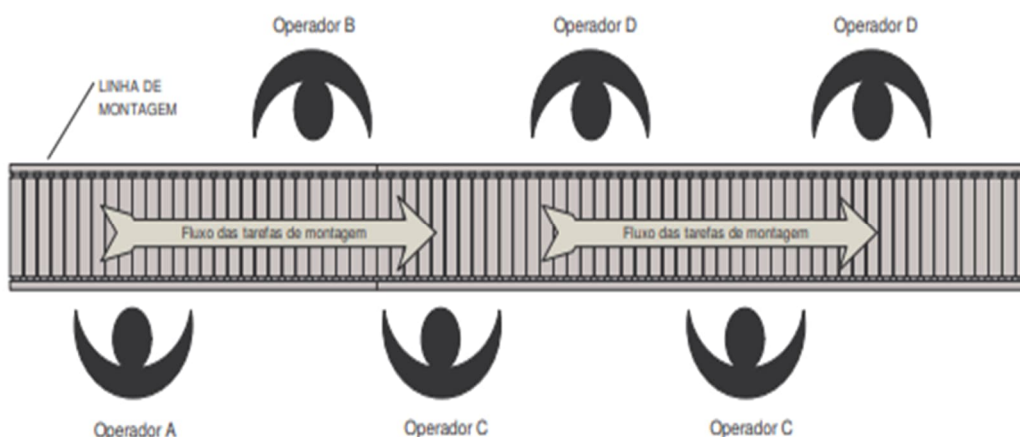
Fonte: Slack et al., 2002.

Peinado e Graeml (2007) apresentam como pontos positivos desse arranjo, a flexibilidade para se adaptar as mudanças impostas pelo mercado e o atendimento a produtos e prazos de produção diversos, haja vista que se possibilita variações no processo produtivo apenas pela mudança no fluxo a ser seguido, garantindo adaptabilidade para mudanças e a diversidade de produtos. A Figura 6 apresenta um exemplo de arranjo físico funcional para uma biblioteca, na qual é demonstrado o caminho realizado por apenas uma pessoa.

4.4.3. Layout por produto

Também chamado de arranjo físico em linha, este é muito utilizado nas indústrias automobilísticas, de aparelhos eletrônicos, alimentícias e de eletrodomésticos. Nesse arranjo, os equipamentos e estações de trabalho são alocados seguindo uma sequência de montagem, em um fluxo pré-estabelecido (PEINADO; GRAEML, 2007). A Figura 7 apresenta um exemplo de fluxo de produção utilizando o arranjo físico em linha.

Figura 7 - Exemplo de layout em linha.



Fonte: Peinado e Graeml, 2007.

O arranjo físico por produto se mostra ideal para aplicação em linhas de produção que apresentam um volume de produção alto e uma variedade de produtos pequena. Além disso, o uso de maquinários de difícil movimentação, geralmente específicos para determinados processos, é outro fator que impulsiona o uso do arranjo em linha (GAITHER; FRAZIER, 2001).

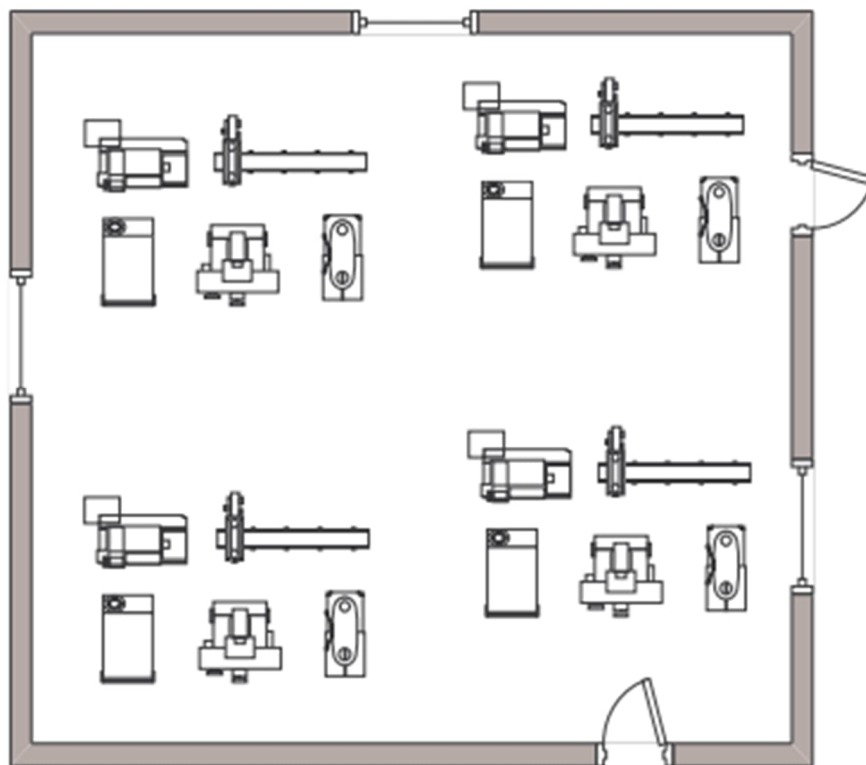
4.4.4. Layout celular

O arranjo físico celular se dá de forma que, em um mesmo local ou célula, são organizados maquinários distintos que possibilitem a fabricação do produto. Neste, os recursos transformados

entram em uma parte da célula, na qual se concentram todos os recursos transformadores necessários para a operação (SLACK et al., 2002).

Por sua vez, a célula pode ter seu arranjo físico próprio, podendo ser arranjada por meio de um arranjo físico funcional ou em linha. A estruturação celular busca unir os arranjos físicos por produto e funcional, de modo a trazer mais eficiência para a linha de produção. A Figura 8 apresenta um exemplo de arranjo celular, no qual as máquinas estão distribuídas em células produtivas.

Figura 8 - Exemplo de layout celular.

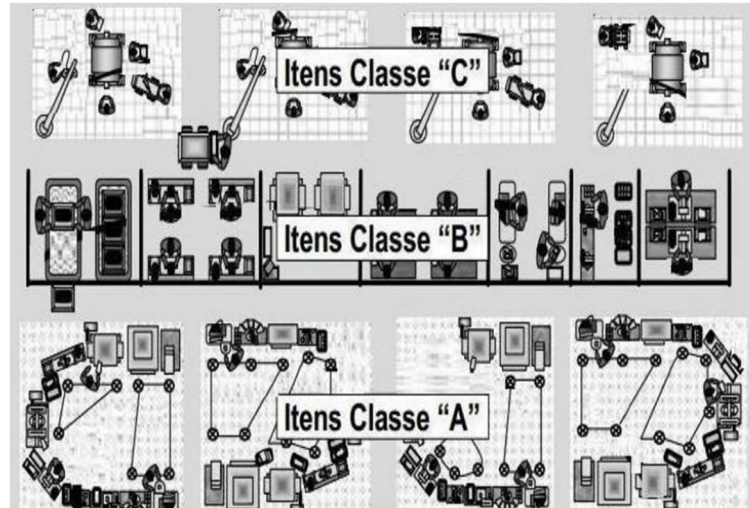


Fonte: (Peinado e Graeml, 2007).

4.4.5. Layout misto

O arranjo físico misto ocorre pela combinação de alguns ou todos os arranjos físicos supracitados. Esse arranjo busca aproveitar as vantagens de cada um e minimizar suas desvantagens, geralmente organizando o layout em setores, de acordo com as necessidades da linha de produção. A Figura 9 apresenta um arranjo físico misto, exemplificando a união de diferentes arranjos em um mesmo buscando a melhor eficiência geral.

Figura 9 - Exemplo de layout misto.



Fonte: De Azevedo, 2016.

Alicerce fundamental para o desenvolvimento de um layout, a engenharia industrial apresenta suas origens datando da segunda revolução industrial, no início do século XX, se mostrando, desde então, um ponto primordial nos processos de manufatura.

4.5. Engenharia Industrial

A engenharia industrial consolidou o estudo de métodos produtivos e, com seu foco na eficiência, desempenhou um papel crucial durante a Segunda Guerra Mundial, influenciando significativamente a engenharia industrial contemporânea (TOWILL, 2010). Eficiência, nesse contexto, refere-se à otimização no uso de tempo, custos e recursos para maximizar a criação de valor, buscando realizar mais com menos, por exemplo, aumentando a produção ao mesmo tempo que se reduz o desperdício e o consumo de recursos (MORATO, 2023). Essa abordagem reflete os princípios da economia de escala, um dos principais objetivos industriais do início do século XX, que visava à redução de custos médios por meio da melhoria contínua dos sistemas de fabricação (EMEC et al., 2015)

A partir do final do século XX, o foco no desenvolvimento dos sistemas de produção migrou da eficiência para a eficácia, refletindo uma mudança nas prioridades da indústria e uma aproximação com o cliente. Mais recentemente, os esforços têm se voltado para integrar eficácia com maior capacidade de adaptação, atendendo às demandas de um ambiente de produção cada vez mais dinâmico (EMEC et al., 2015). O Sistema Toyota de Produção exemplifica essa evolução, com suas bases firmemente ancoradas nos princípios da engenharia industrial. Embora seja uma abordagem inovadora, muitas de suas práticas remetem diretamente ao estudo de métodos, que foi essencial para sua concepção e estruturação (TOWILL, 2010).

Para atingir tanto a eficiência quanto a eficácia, a engenharia industrial deve adotar sobre si os mesmos conceitos, ferramentas, práticas e filosofias que aplica na indústria. Esse movimento gera um ciclo virtuoso, no qual a engenharia industrial impulsiona a criação de sistemas de produção altamente eficientes. Morais (2005) define a engenharia industrial atual como uma metodologia voltada para melhoria de processos. A autora apresenta cinco etapas para resolução de problemas, voltadas para melhoria, sendo elas:

- **Identificação do Problema:** A etapa se define pela busca de pontos de melhoria voltados para produtividade, antecipando possíveis problemas e analisando os já existentes. Para tal, é sugerida a utilização de análises externas do meio em que a indústria se encontra, do mercado e clientes, análises internas dos próprios recursos da empresa e o uso de ferramentas já estruturadas como a análise SWOT e de Pareto;
- **Análise:** Identificado o problema, parte-se para uma análise minuciosa dos aspectos deste. Nesse ponto, a autora aborda o método de Análise de Valor para a redução dos custos associados a um determinado produto e o Estudo de Métodos para o estudo dos processos de trabalho, propondo que, para o sucesso dos processos, tanto quem estuda quanto os envolvidos no estudo devem apresentar uma postura interrogativa, sugerindo o uso da ferramenta 5W2H, abordada por Cardoso et al. (2024) em seu trabalho;
- **Desenho:** Almeja-se formalizar e estruturar os elementos constituintes de um processo e suas interações. A utilização do *brainstorming*, caracterizado como a comunicação em grupo das ideias a respeito de um tema de forma ordenada e sucessiva, se mostra como uma útil ferramenta nessa etapa, podendo auxiliar na proposta de soluções no menor tempo possível (MOURA; ZANI, 2020). O próximo passo é a estruturação das ideias propostas, podendo ser realizada com auxílio de diversos *softwares* e algoritmos, sendo o mais comum o CAD (Desenho Assistido por Computador), especialmente útil na estruturação de desenhos industriais e *layouts*;
- **Avaliação das Alternativas:** Para Morais (2005), no contexto da engenharia industrial, avaliar consiste na comparação entre alternativas ou na análise de um projeto, avaliando parâmetros monetários e não monetários. As avaliações monetárias consistem na análise de custos e retornos para a empresa, já as não monetárias refletem ganhos como a satisfação dos operadores, melhoras na segurança de trabalho e ergonomia;
- **Implementação:** Para etapa final, a de implementação, Morais (2005) propõe técnicas de gestão de projetos, haja vista o nível de dificuldade dessa fase, que pode

evidenciar aspectos ignorados no projeto inicial e processos não tão bem definidos, assim como podem ocorrer incidentes não considerados. A autora propõe algumas ferramentas úteis nessa fase, como as técnicas PERT (Técnicas de Avaliação e Revisão de Programas) e CPM (Método do Caminho Crítico) e o diagrama de Gantt.

Com base na bibliografia consultada, será feito neste trabalho, um estudo para uma nova proposta de *layout* em uma operação que atua com um arranjo físico misto, seguindo os conceitos da engenharia industrial em uma empresa na área de mineração. Para tal, serão adotadas ferramentas com base no *Lean Thinking*, como o Diagrama de Espaguete e o 5W2H, visando redução dos desperdícios.

5. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi estruturada em etapas organizadas para atingir os objetivos estabelecidos. A primeira etapa consistiu em um estudo preliminar de levantamento de dados, envolvendo a coleta, a análise e a organização de informações essenciais para o início do estudo.

5.1 Estudo Inicial

Com a finalidade de se obter uma melhor estruturação dos processos, metodologia e recursos a serem utilizados, assim como uma visualização de custos e resultados esperados, foi utilizada a ferramenta 5W2H em conjunto com reuniões com supervisores e fornecedores para uma análise inicial. Foram, então, mapeadas todas as áreas relacionadas à fabricação dos equipamentos, desde o descarregamento de peças recebidas de fornecedores, até o pátio de expedição para produtos acabados. Além disso, levou-se em consideração a metragem dos edifícios, galpões e ruas, além da quantidade e capacidade dos dispositivos de transporte e içamento disponíveis em cada uma das áreas.

Com as informações coletadas, foi realizado um *workshop* intencionando a troca de ideias e aplicação de conhecimentos. O grupo constituiu-se de supervisores e gestores responsáveis pelos setores fabris, além de toda a equipe de apoio à produção, incluindo os departamentos de engenharias, qualidade, segurança e PCP (Planejamento e Controle de Produção). A partir disso, diferentes sugestões e possibilidades foram compartilhadas e discutidas, resultando em um único e estratégico *layout* final.

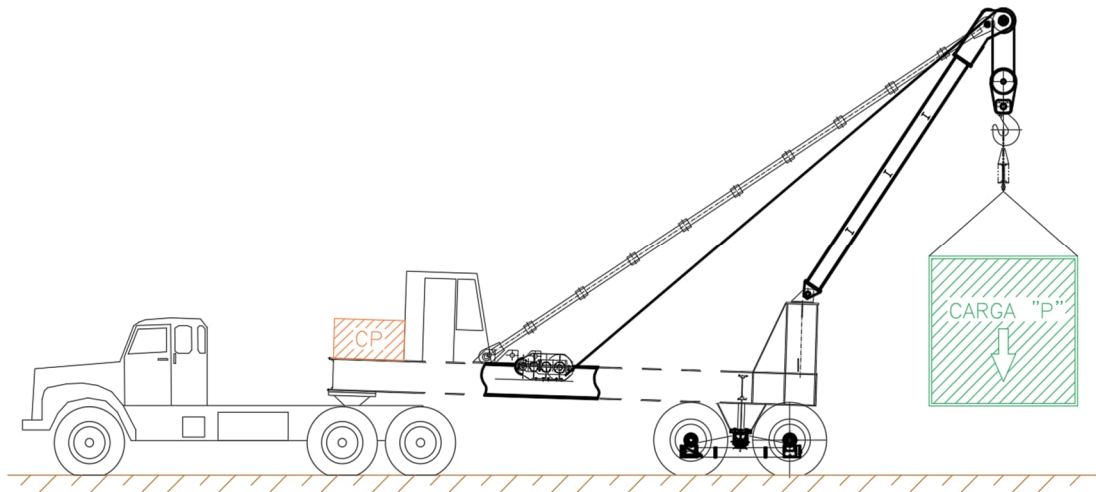
Por conseguinte, após a definição da nova proposta de melhoria, a primeira ação foi elaborar o layout em 2D, utilizando o *software AutoCAD*, permitindo a melhor visualização e análise de viabilidade do projeto.

Com o intuito de analisar a viabilidade do novo *layout* proposto, as áreas foram divididas em externa e interna e detalhadas de acordo com suas características.

5.2. Layout Externo

Para a análise das rotas em áreas externas foi desenvolvido, inicialmente, um mapa de fluxo das peças transportadas do almoxarifado até a usinagem ou montagem. Para itens de até 7 toneladas, os transportes são feitos com empilhadeiras à combustão, movidas a GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) e, para cargas acima deste valor, o transporte, necessariamente, é feito com o uso do caminhão-guindaste, equipamento movido à diesel, ilustrado na Figura 10. Sendo ‘CP’ o contrapeso necessário e ‘P’, o peso da carga a ser içada e transportada.

Figura 10 – Caminhão guindaste



Fonte: Própria autoria.

Ainda levando em consideração toda a movimentação de empilhadeiras, foi realizado um levantamento de todos os incidentes que ocorreram durante o transporte destas peças no ano de 2023, havendo, ou não, danos materiais. Na sequência foi realizado o estudo das áreas disponíveis próximas e os desafios em suas mudanças, sendo realizadas reuniões com fornecedores a fim de validação financeira da nova proposta.

Por fim, foi feito um novo levantamento dos dados das distâncias para cada componente, considerando o novo *layout*, o que possibilitou uma análise das reduções. Após análise completa das possíveis mudanças nas áreas externas de armazenamento, iniciou-se o estudo aprofundado das áreas internas, incluindo almoxarifado e setores fabris.

5.3. Layout Interno

Primeiramente, as necessidades de cada área foram analisadas cuidadosamente, além daquelas já mapeadas durante o *Workshop*. As disposições de departamentos, máquinas e dispositivos foram estudadas e os detalhes macro de cada área foram representados em um modelo 2D. Em seguida, foi feita uma análise da quantidade de vendas e dos arranjos físicos da montagem dos principais produtos da empresa, os equipamentos de içamento de cada área também foram avaliados e as capacidades de carga e relações de quantidade.

Realizou-se também um levantamento e análise dos desperdícios levantados durante as reuniões e acompanhamento de operação, o qual, em conjunto com um estudo das necessidades de cada montagem, possibilitou a elaboração do novo *layout* interno. De forma análoga ao que foi realizado para o *layout* externo, foi feito um levantamento das novas distâncias, seguido do estudo da redução delas e dos custos associados.

6. RESULTADOS

Inicialmente, realizou-se a estruturação do 5W2H para montagem do plano de ação a ser seguido, apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – 5W2H

<i>What?</i>	<i>Why?</i>	<i>Where?</i>	<i>When?</i>	<i>Who?</i>	<i>How?</i>	<i>How Much?</i>
Mapeamento de áreas	Definir estado atual e capacidades	Áreas internas e externas	Novembro de 2023	Engenharia de processos	Fazer levantamento de desenhos e metragens das áreas	Apenas mão de obra
Levantamento de dados do estado atual	Definir estado atual e pontos de melhoria	Áreas internas e externas	Dezembro 2023 a Fevereiro 2024	Engenharia de processos	Acompanhamento, medição de tempos e distâncias, extração de dados de produção	Apenas mão de obra
Definição de pontos críticos de melhoria	Direcionar foco do estudo e investimento	Áreas internas e externas	Março 2024	Áreas de apoio à fábrica	Workshop para estudo de reorganização das áreas fabris	Apenas mão de obra
Redução das distâncias e tempo percorridos	Diminuição de desperdícios e custos associados às empilhadeiras.	Áreas internas e externas	Abril a Junho de 2024	Engenharia de processos	Estudo do estado atual e propostas do workshop	Apenas mão de obra
Aumento na segurança dos processos	Redução da exposição dos operadores à possíveis incidentes.	Áreas internas e externas	Abril a Junho de 2024	Engenharia de processos	Estudo do estado atual e propostas do workshop	Apenas mão de obra
Orçamentação de projetos	Definir investimentos	Áreas internas e externas	Junho a Julho de 2024	Engenharia de processos	Desenvolvimento de fornecedores	Custo total estimado em R\$1,2 milhão
Levantamento de dados e ganhos propostos	Apresentação e defesa para investimentos	Escritório	Agosto 2024	Engenharia de processos	Projetar proposta e medir possíveis ganhos	Apenas mão de obra

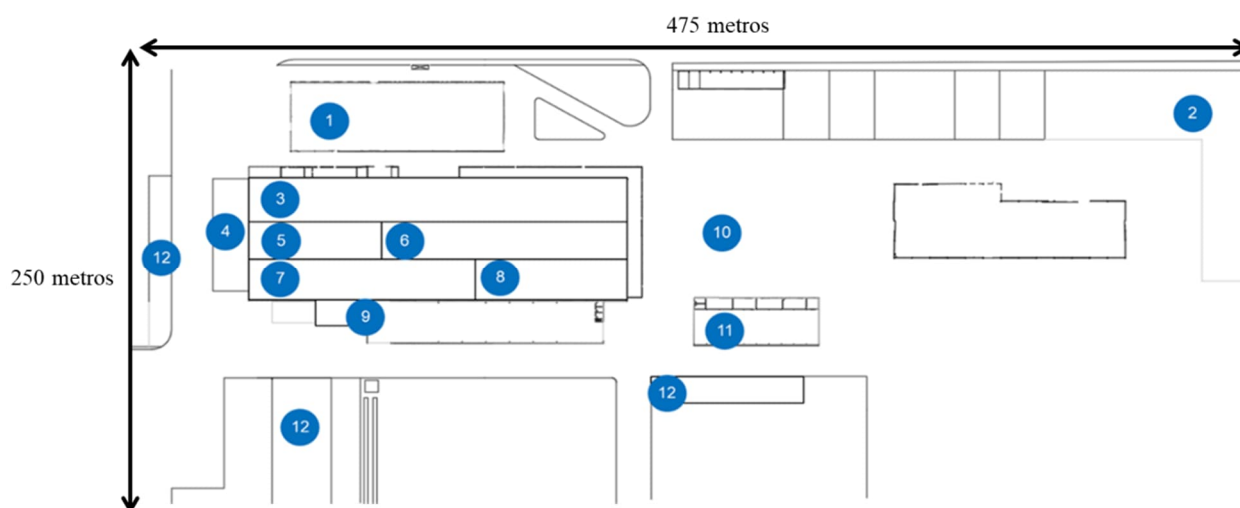
Fonte: própria autoria.

Feito o mapeamento das áreas relacionadas à fabricação, obteve-se na Figura 11 o desenho da estrutura da fábrica, na qual os números representam:

1. Usinagem leve;
2. Almoxarifado externo de caldeirados;
3. Usinagem pesada;
4. Tenda do almoxarifado;
5. Rebarbação e solda;
6. Montagem de equipamentos tipo A e tipo B;
7. Almoxarifado interno;
8. Montagem de equipamentos tipo C e tipo D;

9. Área disponível;
10. Pátio de expedição/embalagem;
11. Pintura;
12. Almoxarifado externo de fundidos.

Figura 11 – Mapa de identificação das áreas fabris

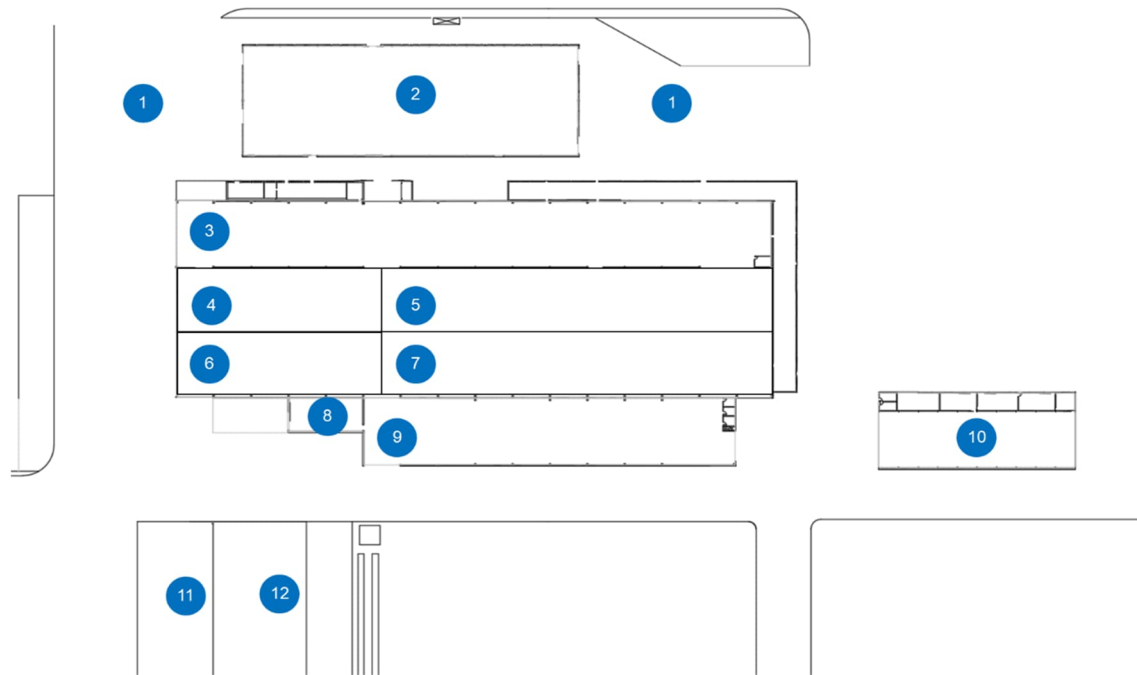


Fonte: Própria autoria.

A partir das discussões tratadas no *workshop* obteve-se o novo *layout* proposto, apresentado na Figura X, na qual as numerações representam:

1. Almoxarifado externo de fundidos;
2. Usinagem leve;
3. Usinagem pesada;
4. Rebarbação e solda;
5. Montagem de equipamentos tipo A;
6. Almoxarifado usinados;
7. Almoxarifado interno;
8. Montagem de equipamentos tipo C;
9. Montagem de equipamentos tipo B e tipo D;
10. Pintura;
11. Almoxarifado externo de fundidos especiais;
12. Almoxarifado externo de caldeirados.

Figura 12 - Mapa de identificação das áreas fabris propostas



Fonte: Própria autoria.

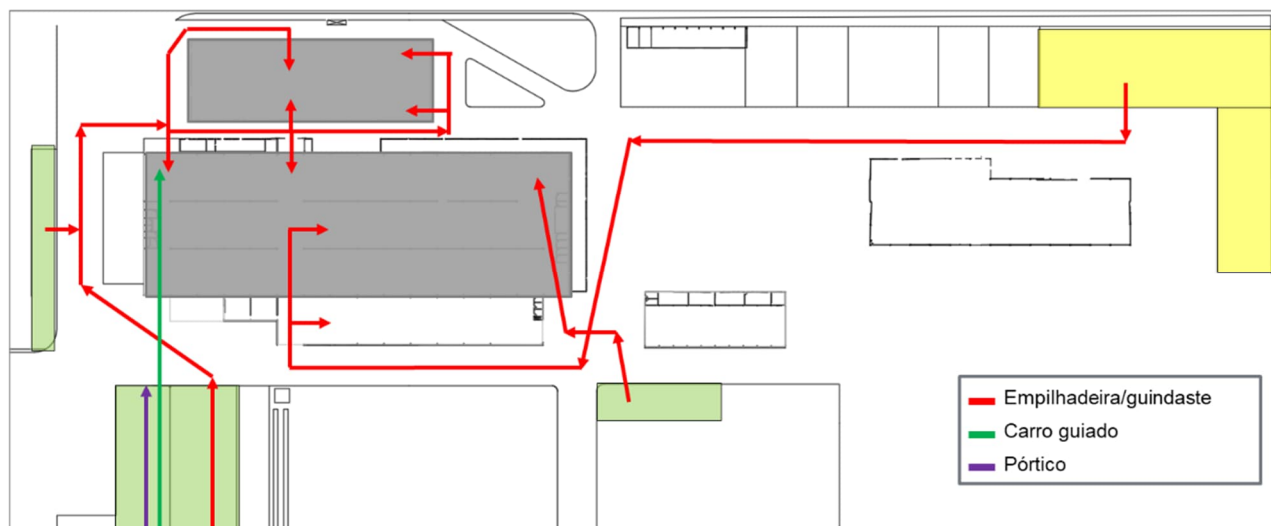
Como já citado, além de objetivar o aumento da eficiência do processo, o estudo também destinou-se ao aumento da segurança durante as operações. Para isso, foi levado em consideração apenas os fluxos dos equipamentos A e B, que além de representarem maior parte das vendas, também passam por todos os processos fabris: estoque do almoxarifado interno e externo, usinagem leve e pesada, rebarbação, solda, montagem e pintura. Por motivos de alto investimento e baixo retorno, os departamentos de usinagem e solda foram excluídos do estudo de mudança de *layout*, sendo apenas considerados como áreas anexas àquelas que serão alteradas.

Fundamentando-se nos novos modelos esquematizados, foi possível identificar e quantificar os ganhos gerados com as mudanças. A partir do estudo de movimentação e transporte realizado, foram obtidas as relações de distância, custo e emissão de poluentes. Os resultados foram divididos em área externa e interna e analisados separadamente.

6.1. Layout Externo

A Figura 13 apresenta o mapa de fluxo para as peças transportadas do almoxarifado para montagem e usinagem, na qual em amarelo está destacado o almoxarifado de peças caldeiradas e em verde os almoxarifados de peças fundidas. Notou-se que as peças armazenadas em ambiente externo estavam espalhadas, sem padronização e em locais distantes em relação ao setor de uso, gerando excesso de movimentação e má utilização dos espaços físicos e mão de obra.

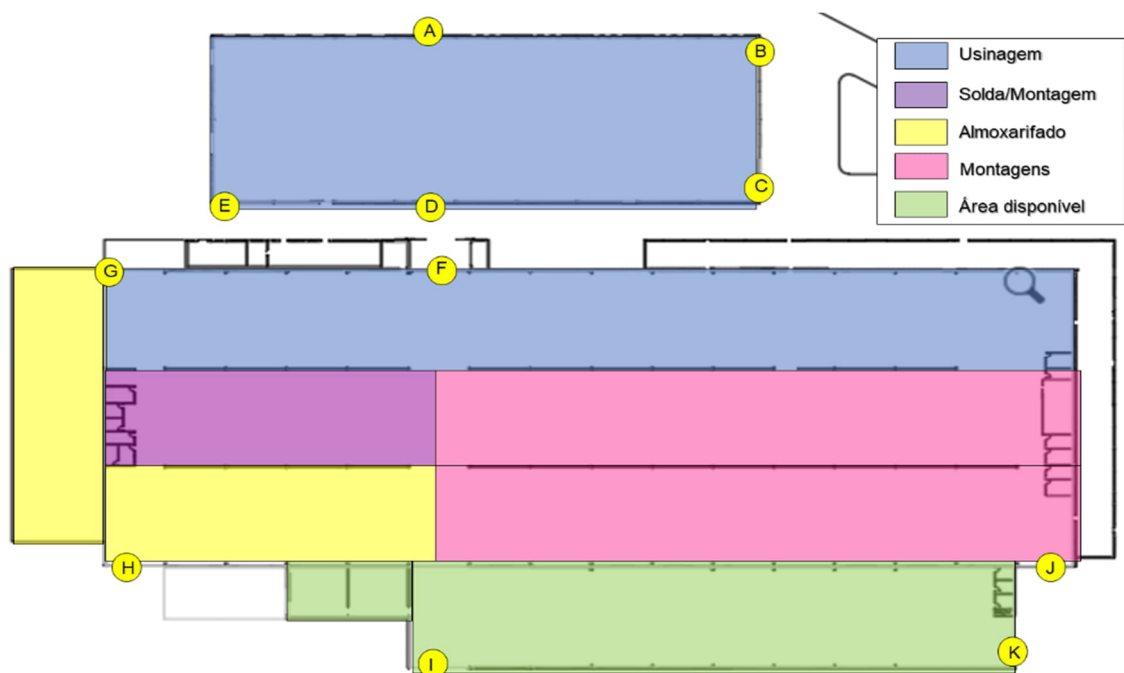
Figura 13 – Fluxo externo de entrega de peças entre o almoxarifado e as áreas fabris



Fonte: Própria autoria.

Levando em consideração as peças usinadas e montadas em 2023, pôde-se observar os itens que percorriam as maiores distâncias, as peças utilizadas com maior frequência e, conseqüentemente, quais causavam maiores impactos negativos em tempo e segurança do transporte. A Figura 14 mostra as entradas A - K dos prédios.

Figura 14 – Mapa de identificação das entradas dos prédios fabris



Fonte: Própria autoria.

A Tabela 2 mostra as distâncias medidas entre almoxarifado externo e pontos de entrega para cada peça utilizada em 2023.

Tabela 2 – Distâncias medidas entre armazenamento e entrega das peças

Peça	Quantidade	Distância total atual (m)
Anel	6	1.308,0
Anel Ajuste	293	63.874,0
Anel Trava	318	84.270,0
Anel Vedação	119	27.922,0
Bojo	146	31.828,0
Caixa mancal	157	41.605,0
Capa rolamento	24	6.360,0
Carcaça Contraeixo	275	72.875,0
Carcaça A	33	7.194,0
Carcaça mecanismo	4	1.060,0
Carcaça B	100	26.500,0
Carcaça Principal	266	21.280,0
Chapa Lateral	99	7.920,0
Contraeixo	246	67.158,0
Contrapeso	229	60.685,0
Dianteira	46	5.345,0
Eixo	149	39.573,0
Eixo excêntrico	86	22.790,0
Eixo Principal	296	79.443,0
Eixo Transmissão	30	6.540,0
Esférico	290	77.162,0
Excêntrico	94	20.492,0
Mancal Apoio	87	23.751,0
Queixo	52	5.825,0
Rolo	16	3.488,0
Soquete	122	33.306,0
Spider	18	3.924,0
Traseira	46	5.160,0
Vibratórios	9	2.385,0
Volante	38	10.070,0
Caixa mancal	251	83.332,0
Contrapeso	139	46.148,0
Excêntrico	319	107.503,0
Cabeça	304	24.320,0
Frame	25	2.000,0

Fonte: Própria autoria.

Na sequência, foi realizado o levantamento dos incidentes, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Incidentes com empilhadeira

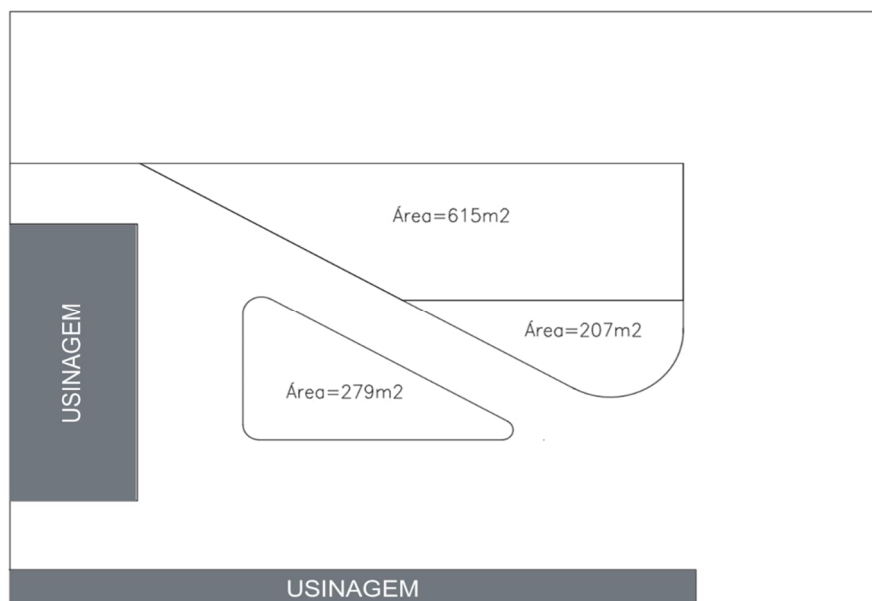
Data	Local do ocorrido	Risco potencial	Classificação
02/02/2023	Almoxarifado	Baixo	Desvios
15/02/2023	Almoxarifado	Médio	Quase Acidente com Danos Materiais
28/02/2023	Montagem D	Baixo	Quase Acidente com Danos Materiais
09/03/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente
26/03/2023	Pintura	Médio	Quase Acidente com Danos Materiais
26/03/2023	Almoxarifado	Alto	Quase Acidente com Danos Materiais
12/04/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente
20/04/2023	Almoxarifado	Médio	Quase Acidente com Danos Materiais
21/04/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente
16/05/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente com Danos Materiais
07/06/2023	Ruas internas	Baixo	Quase Acidente
04/06/2023	Outros Locais	Baixo	Quase Acidente
24/06/2023	Oficina Autos	Baixo	Quase Acidente com Danos Materiais
05/08/2023	Outros Locais	Baixo	Quase Acidente com Danos Materiais
25/08/2023	Pátio Expedição	Baixo	Quase Acidente
13/09/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente
20/09/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente
22/10/2023	Almoxarifado	Médio	Quase Acidente com Danos Materiais
27/10/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente com Danos Materiais
01/11/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente
01/11/2023	Almoxarifado	Baixo	Quase Acidente

Fonte: Própria autoria.

Diante das informações coletadas, a proposta referente à armazenagem externa teve como foco a redução na utilização de empilhadeiras na entrega de materiais, alterando o local de armazenamento e utilizando, quando possível, trolleys sobre trilhos (carros guiados). Para isso, foi necessário estudar a viabilidade da utilização das áreas disponíveis próximas à fábrica, tendo em vista a carga aplicada por m² e a capacidade do solo, o fluxo de veículos e pedestres, o melhor ponto de armazenamento em relação aos postos de trabalho e o espaço de manobra para descarregamento de materiais.

Uma das barreiras físicas encontradas durante o estudo, foi a existência de jardim em área próxima às entradas das usinagens, ilustrado na Figura 15.

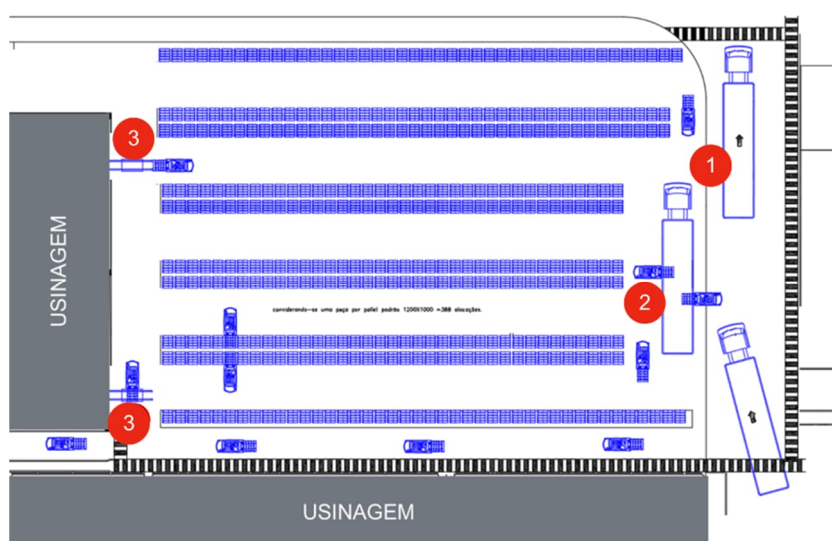
Figura 15 – Mapa atual do jardim externo



Fonte: Própria autoria.

Devido à localização e extensão, somando 1.100 m² de jardim e mais de 2.000 m² de área total, o local foi considerado ideal para armazenagem de peças fundidas, itens estes que apresentaram valores significativos de distância percorrida e quantidade e que são entregues diretamente nos setores de usinagem. Após a identificação e mapeamento da área, foi realizado um estudo de disposição de peças, tal como o espaço de descarregamento e movimentação de pedestres e veículos (Figura 16). Para isso, considerou-se a remoção do jardim e compactação do solo, junto com a instalação de bloquetes, modelo de piso já existente em toda a área externa da empresa.

Figura 16 – Proposta de layout para armazenamento de peças externas



Fonte: Própria autoria.

A Figura 16 ilustra a proposta da disposição de peças na área a ser disponibilizada. Desse modo:

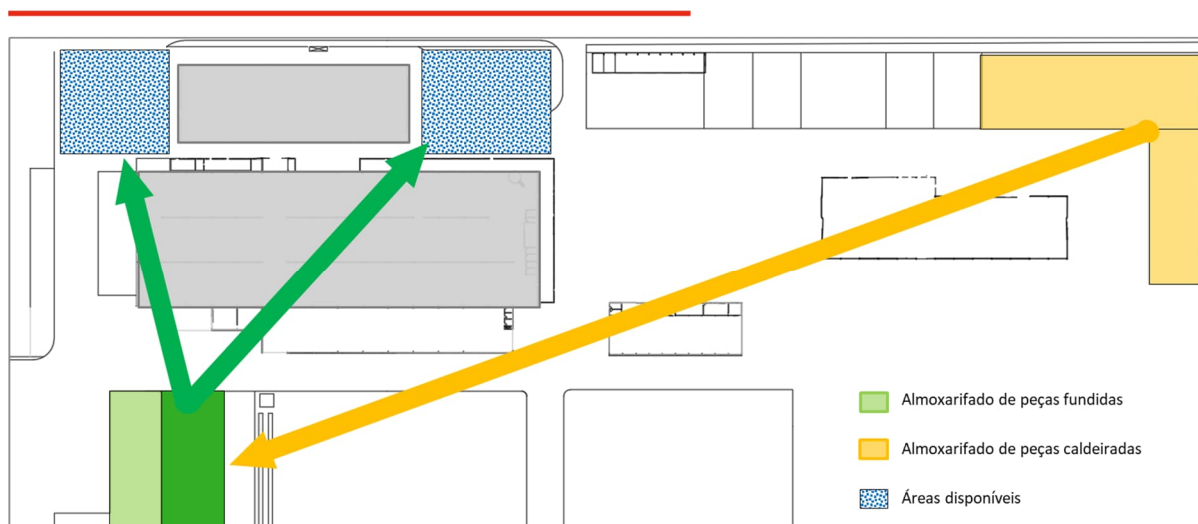
1. Manobra e estacionamento de caminhões e carretas;
2. Descarregamento e armazenamento com auxílio de empilhadeiras;
3. Utilização de trolleys em cada entrada do prédio, facilitando o transporte de peças.

É importante citar que a fim de padronização dos estudos, levando em consideração à grande variedade nas dimensões e geometrias das peças, foram consideradas as dimensões de um pallet padrão, 1,00m de largura por 1,20m de comprimento, totalizando 388 alocações.

Analogamente, outra região ao lado dos prédios de usinagem foi medida e analisada e, uma vez que se encontrava disponível e nas condições exatas, com solo preparado e pisos instalados, sendo necessária apenas a realização da sinalização do local conforme normas, foi direcionada para armazenamento de peças fundidas. Na sequência foram realizadas reuniões com fornecedores a fim de se validar financeiramente a nova proposta.

De forma geral, a proposta é transferir as peças fundidas estratégicas para as áreas mais próximas da usinagem, liberando o espaço mais próximo à montagem para acomodação das peças caldeiradas, como mostrado na Figura 17.

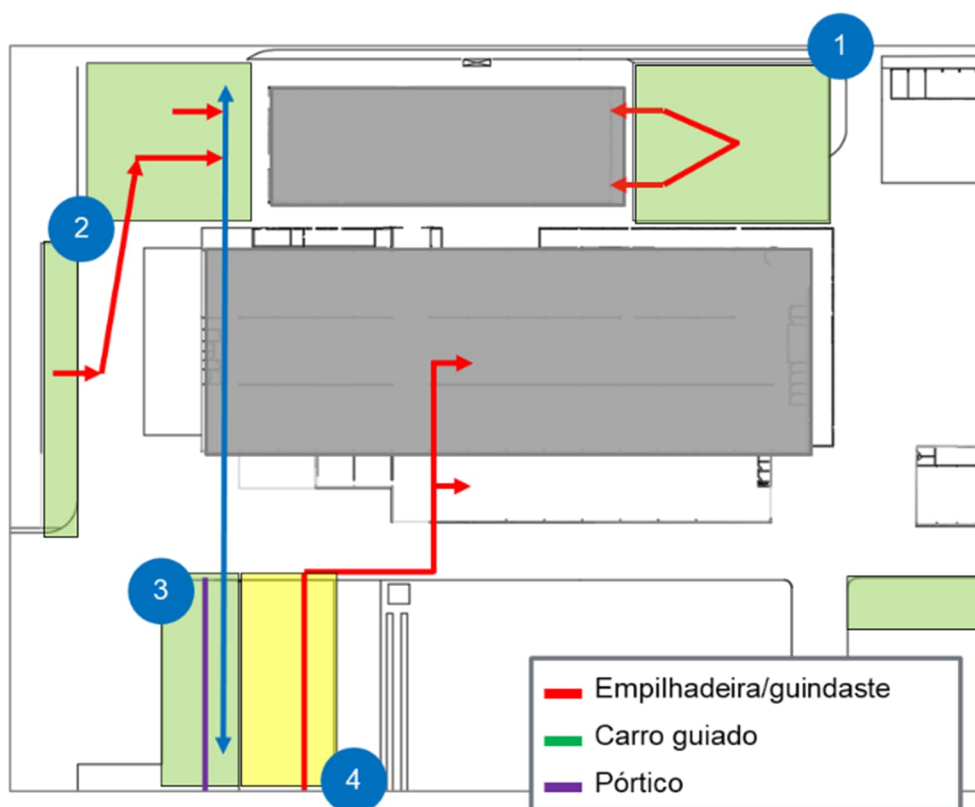
Figura 17 - Proposta de realocação de peças



Fonte: Própria Autoria

A nova distribuição de peças, apresentada na Figura 18, propiciou a organização de acordo com o uso, ou ponto de entrega.

Figura 18 – Proposta de fluxo externo de entrega de peças entre o almoxarifado e as áreas fabris



Fonte: Própria autoria.

Dessa forma, obteve-se a seguinte distribuição:

1. Armazenamento de peças fundidas utilizadas na usinagem leve;
2. Armazenamento de peças fundidas utilizadas na usinagem pesada;
3. Armazenamento de peças fundidas utilizadas na usinagem pesada e que possuem massa superior à 7 toneladas;
4. Armazenamento de peças caldeiradas, utilizadas nas montagens.

Vale ressaltar que as peças armazenadas na região do pórtico são àquelas que possuem maiores dimensões e massas, o que impossibilita seu carregamento com empilhadeiras disponíveis no setor. Assim, a área ficou restrita a esses itens, que serão transportados via pórtico e *trolley*. As peças caldeiradas, utilizadas exclusivamente nos setores de montagem, também foram aproximadas e estocadas na área que previamente era ocupada com materiais diversos.

Os dados das distâncias para cada componente, considerando o novo *layout* foram medidos e apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Distâncias medidas entre armazenamento e entrega das peças

Peça	Quantidade	Distância total proposta (m)
Anel	6	202,2
Anel Ajuste	293	9.874,1
Anel Trava	318	26.871,0
Anel Vedação	119	5.335,1
Bojo	146	4.920,2
Caixa mancal	157	13.266,5
Capa rolamento	24	2.028,0
Carcaça Contraeixo	275	23.237,5
Carcaça A	33	-
Carcaça mecanismo	4	338,0
Carcaça B	100	8.450,0
Carcaça Principal	266	-
Chapa Lateral	99	-
Contraeixo	246	17.343,0
Contrapeso	229	19.350,5
Dianteira	46	760,5
Eixo	149	12.436,5
Eixo excêntrico	86	7.267,0
Eixo Principal	296	20.515,5
Eixo Transmissão	30	1.011,0
Esférico	290	23.959,0
Excêntrico	94	3.167,8
Mancal Apoio	87	6.133,5
Queixo	52	760,5
Rolo	16	539,2
Soquete	122	8.601,0
Spider	18	606,6
Traseira	46	676,0
Vibratórios	9	760,5
Volante	38	3.211,0
Caixa mancal	251	6.852,3
Contrapeso	139	3.794,7
Excêntrico	319	8.262,1
Cabeça	304	24.320,0
Frame	25	2.000,0

Fonte: Própria autoria.

Com base nos dados apresentados da área externa, é possível observar que as maiores distâncias percorridas ultrapassam 300 metros por peça e a somatória ao longo do ano foi igual a 1.367,4 quilômetros. Verifica-se também que as peças utilizadas na usinagem representam 80,67% de toda a movimentação externa, causando o maior impacto ambiental e monetário.

Levando em consideração que o cilindro de GLP possui 20 kg e autonomia de aproximadamente 22 km em uma empilhadeira utilizada, foi possível calcular a redução na quantidade de cilindros necessários no período de um ano, além da massa emitida de CO₂, como mostrado na Tabela 8. Levando em consideração as possíveis variações de propano e butano, foi considerado que 3 kg de CO₂ são emitidos a cada 1 kg de GLP (SINDIGÁS, c2024)).

Tabela 8 – Consumo de cilindros de GLP para transporte de peças

	<i>Atual</i>			<i>Proposta</i>		
	Distância (km)	Cilindros (un)	Emissão CO2 (kg)	Distância (km)	Cilindros (un)	Emissão CO2 (kg)
Fundidos	1.098,1	51	3102,2	240,5	14	625,9
Caldeirados	269,4	12	743,2	78,6	4	216,9

Fonte: Própria autoria.

É possível evidenciar que as novas distâncias foram reduzidas em 77% quando comparadas ao estado atual, o que impacta na quantidade de mão de obra necessária para realização das operações, exposição à riscos, tempo total dos processos e emissão de poluentes relacionados à queima do GLP. Desse modo, avalia-se que mais de 30 toneladas de CO₂ podem deixar de ser emitidas no período de um ano nas atividades citadas.

A partir das relações apresentadas, pode-se estimar a redução no custo de materiais consumíveis, manutenção corretiva e custo operacional (Tabela 9). Para isso, utilizou-se o valor de mão de obra interna de almoxarifado igual a R\$ 171,7/hora e o cilindro de GLP igual a R\$ 110,2.

Tabela 9 – Custos de GLP

	<i>Custo Atual (R\$)</i>	<i>Custo Proposto (R\$)</i>
<i>GLP</i>	7.013,40	1.537,20
Manutenção	3.538,70	714,00
Operacional	31.078,90	8.092,80

Fonte: Própria autoria.

Comparando os valores, é possível notar que a proposta visa eliminar R\$ 31.287,00 por ano, ou seja, reduzir custos relacionados à movimentação de empilhadeiras em 60,2%, além do aumento não mensurável de segurança durante as operações, tendo em vista o histórico de incidentes já registrados.

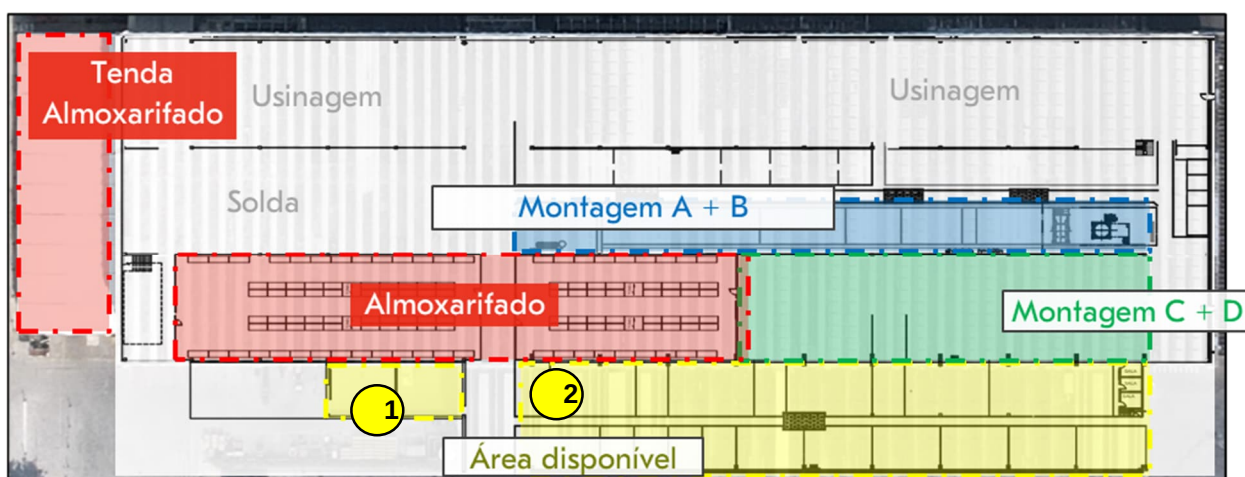
Vale ressaltar que para alteração das áreas externas demonstradas, o investimento é baixo relacionado ao ganho total, uma vez que a mudança consiste majoritariamente na melhoria da disposição e organização de peças de acordo com os locais de utilização.

Em sequência, foram analisados e discutidos os benefícios propostos para as áreas internas.

6.2. Layout Interno

Após mapeamento das áreas internas do prédio estudado, foi identificado o que era feito em cada área e realizado um modelo 2D, apresentado na Figura X.

Figura 19 – Estado atual do layout interno



Fonte: Própria autoria.

Todas as áreas fabris estudadas se encontram em um mesmo edifício e pertencem a uma única linha de negócios. As montagens se referem aos equipamentos A, B, C e D, a usinagem e solda permanecerão inalteradas, conforme citado anteriormente. As áreas em amarelo foram disponibilizadas por outra linha de negócios, o que possibilitou a alteração e melhoria na distribuição atual. O almojarifado interno é composto de prateleiras de 6m de altura cada e é utilizado para armazenamento de peças diversas, utilizadas em todas as áreas representadas acima. Por último, a tenda do almojarifado consiste em uma estrutura alugada para suprir a falta de capacidade interna de armazenamento de materiais.

O equipamento A representa 79% das vendas da empresa e é montado em linha, com estações de trabalho divididas de acordo com montagem de subconjuntos e de equipamento final.

O produto B representa 19% dos produtos e é montado de forma estacionária e demanda de alta capacidade de içamento, podendo ultrapassar 36 toneladas. O item C, atrelado à montagem A, possui menores dimensões e pouca complexidade, mas deve ser montado em condições ideais, com o mínimo de poeira e interferências externas. Por fim, o equipamento D representa apenas 2% das vendas e, apesar de possuir comprimento de 9 metros, superior ao dos outros produtos, não carece de condições especiais e pode ser transportado sem o uso de dispositivos de içamento. As vendas de 2023 relacionadas a esses equipamentos podem ser visualizadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de máquinas vendidas por modelo em 2023

Equipamento	Unidades
A	244
B	59
D	5

Fonte: Própria autoria.

Os equipamentos de içamento de cada área também foram avaliados e as capacidades de carga e relações de quantidade estão apresentados na Tabela 5. Vale ressaltar que o almoxarifado interno possui, no estado atual, uma ponte rolante desativada, devido às normas de segurança em ambiente com prateleiras de armazenamento.

Tabela 5 – Capacidade de içamento por departamento

Setor	Dispositivo	Quantidade (un)	Capacidade (ton)
Almoxarifado Interno	Braço giratório	1	1
Almoxarifado Interno	Ponte rolante	1	30
Montagem A e B	Ponte rolante	1	30
Montagem A e B	Pórtico	2	5
Montagem A e B	Braço giratório	5	2
Montagem C e D	Ponte rolante	1	2
Montagem C e D	Pórtico	1	20
Montagem C e D	Braço giratório	2	2
Área disponível 1	Ponte rolante	2	2
Área disponível 2	Ponte rolante	1	40

Fonte: Própria autoria.

O primeiro desperdício avaliado foi o excesso de transporte na entrega de materiais internos realizado pelos almoxarifados. Estes materiais, em sua grande maioria, são entregues em paletes de madeira, com auxílio de uma paleteira elétrica, ou *racks* metálicos de aço carbono, nos quais os

materiais são dispostos em pequenas caixas plásticas retornáveis (Figura 20). Estes racks são transportados entre áreas de forma manual, de modo com que o almoxarife realiza esforço físico, muitas vezes, por longas distâncias.

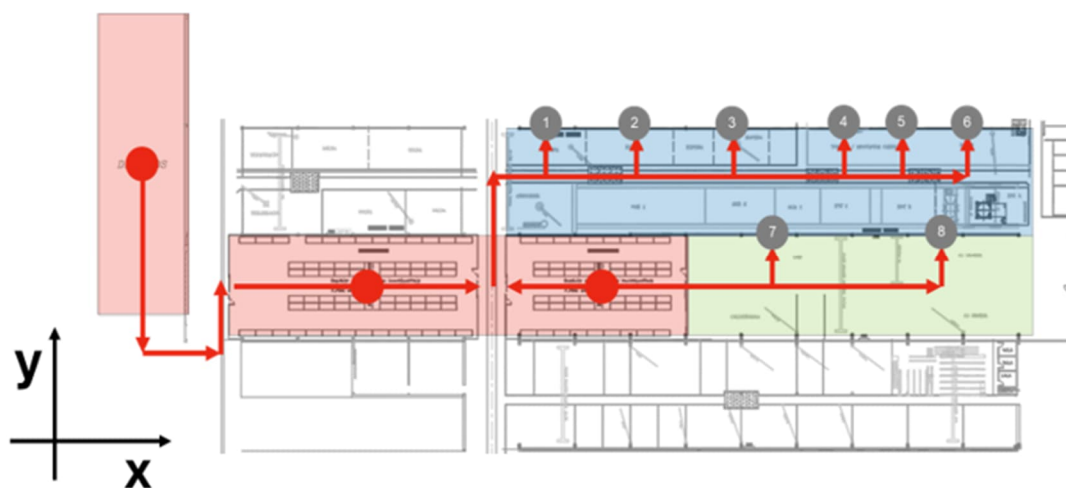
Figura 20 – Rack metálico utilizado para entrega de peças



Fonte: Própria autoria.

Após acompanhamento dos principais subconjuntos, pôde-se elaborar um mapa de fluxo onde os materiais armazenados em prateleiras são entregues nas estações e subestações de todas as áreas de montagem (Figura 21).

Figura 21 – Estado atual do fluxo de entrega de materiais armazenados no almoxarifado interno



Fonte: Própria autoria.

A partir do fluxo definido, as distâncias entre pontos foram medidas e apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Distâncias médias medidas entre almoxarifado interno e estações de trabalho

ESTAÇÃO DE TRABALHO	DIST MÉDIA (M)
1	84
2	100
3	120
4	130
5	140
6	150
7	50
8	85

Fonte: Própria autoria.

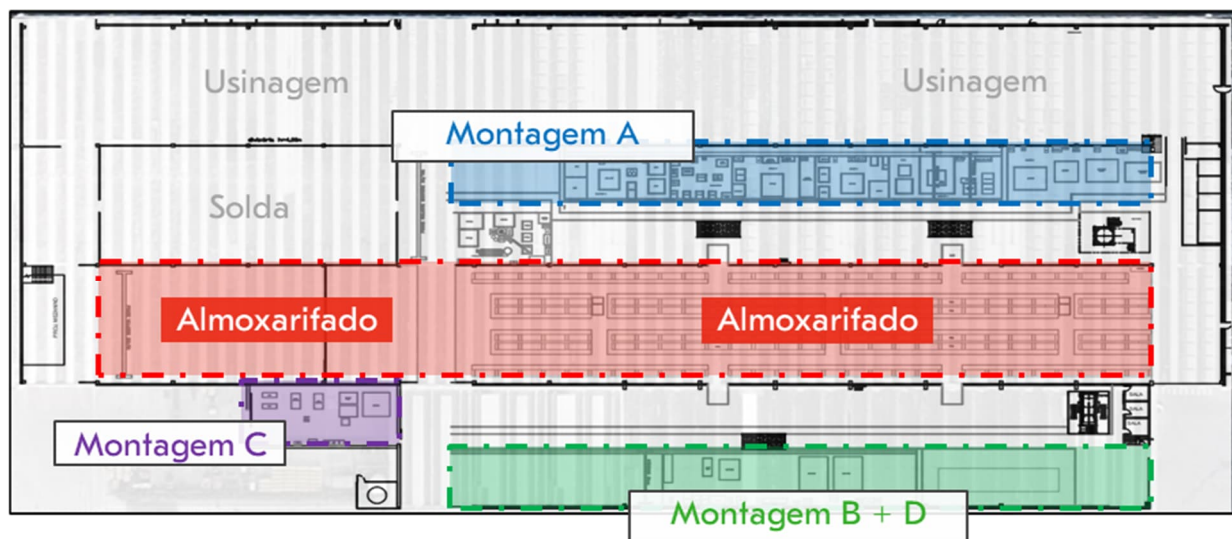
Nota-se o longo caminho percorrido principalmente dos materiais armazenados na tenda ou dos entregues na última estação de trabalho, de fechamento de máquinas. Isso se deve ao fato de o almoxarifado não estar centralizado em relação às linhas de montagem e de não existirem passagens diretas entre as áreas. Para percorrer o caminho, é necessário acompanhar os corredores de prateleiras, no sentido do eixo x, e corredores entre setores, no sentido do eixo y.

Outro desperdício identificado, a partir do acompanhamento diário das operações, foi a espera dos colaboradores para utilização dos pórticos e ponte rolante na área de Montagem A e B, pela alta e constante demanda. Tendo em vista que as montagens que representam 98% das vendas estão situadas em um único local e ambos os modelos apresentam peças com massa e dimensões elevadas e variadas, pôde-se observar que os recursos de içamento foram subdimensionados, causando ociosidade dos colaboradores, quebra de fluxo e perda de eficiência. Ainda sobre a falta de capacidade de carga, notou-se que para as maiores variações do equipamento B, que após montadas ultrapassam 36 toneladas, o fechamento e finalização das montagens eram realizados em outro edifício, com ponte rolante de 40 toneladas.

Por último, foi levado em consideração a necessidade da montagem de equipamentos C ser feita em área controlada, livre de poeiras e quaisquer outras impurezas.

Desse modo, visando formas de mitigar os desperdícios identificados, foi consolidada uma nova proposta, utilizando os equipamentos de içamento já existentes das áreas disponíveis (Figura 22).

Figura 22 – Proposta para layout interno



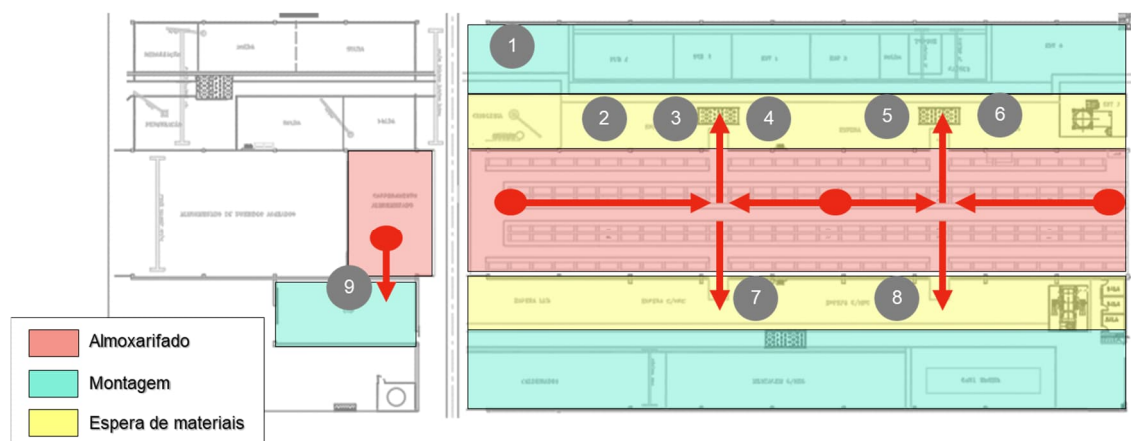
Fonte: Própria autoria.

Conforme figura acima, os setores de usinagem e solda permanecem imutáveis; a montagem de equipamentos tipo A foi isolada das demais, de modo com que os pórticos e ponte rolante de área se tornem exclusivos para atender à alta demanda; as montagens B e D foram agrupadas na segunda área disponível, sob a ponte rolante de maior capacidade, eliminando a necessidade de transporte do equipamento durante as operações e, conseqüentemente, extinguindo riscos de segurança relacionados à este processo. A primeira área disponível, uma sala fechada com baixa capacidade de carga e pressão positiva, foi destinada à montagem de equipamentos C, de forma a garantir barreira da entrada de poeiras ou outros contaminantes, além de utilizar as pontes menores, suficientes para estes processos.

Vale ressaltar que, após usinadas, as peças precisam ser armazenadas em local fechado sem exposição à umidade e, no estado atual, estas são direcionadas a diferentes áreas de diferentes edifícios, uma vez que não existe espaço destinado a isso. Desse modo, o almoxarifado foi estendido por todo o comprimento do prédio e separado em duas áreas: à esquerda, estoque interno para peças usinadas e acabadas e, à direita, a expansão das prateleiras já existentes, ampliando a capacidade interna de armazenamento.

A partir disso, é possível notar que as montagens A, B e D, foram localizadas nas paredes opostas ao almoxarifado, a fim de permitir a abertura de passagens laterais entre as áreas, reduzindo o *spaghetti* de entrega de materiais e possibilitando a criação de áreas de espera de materiais em frente às estações de trabalho (Figura 23).

Figura 23 – Proposta de fluxo de entrega de materiais armazenados no almoxarifado interno



Fonte: Própria autoria.

Com base na proposta, as novas distâncias foram medidas e evidenciadas na Tabela 7, considerando as novas estações de trabalho e ponto central de cada área do almoxarifado, além da passagem direta entre áreas.

Tabela 7 - Distâncias propostas entre almoxarifado interno e estações de trabalho

ESTAÇÃO DE TRABALHO	DISTÂNCIA (M)
1	40
2	34
3	33
4	30
5	30
6	36
7	30
8	30
9	15

Fonte: Própria autoria.

Analisando os estudos feitos da área interna, abrangendo montagens e almoxarifado, as distâncias são relacionadas à movimentação de operadores dentro de um mesmo prédio, na entrega de materiais e contrafluxo de máquinas. Foram consideradas as montagens dos produtos A e B referentes à 2023, com adicional de 30% das peças de reposição. O produto A, montado em linha, recebe materiais em cada uma das suas cinco estações de trabalho, enquanto a montagem B, C e D, em célula, recebem em apenas um local cada. Os resultados obtidos das medições do estado atual e cálculos para a proposta se encontram na Tabela 10.

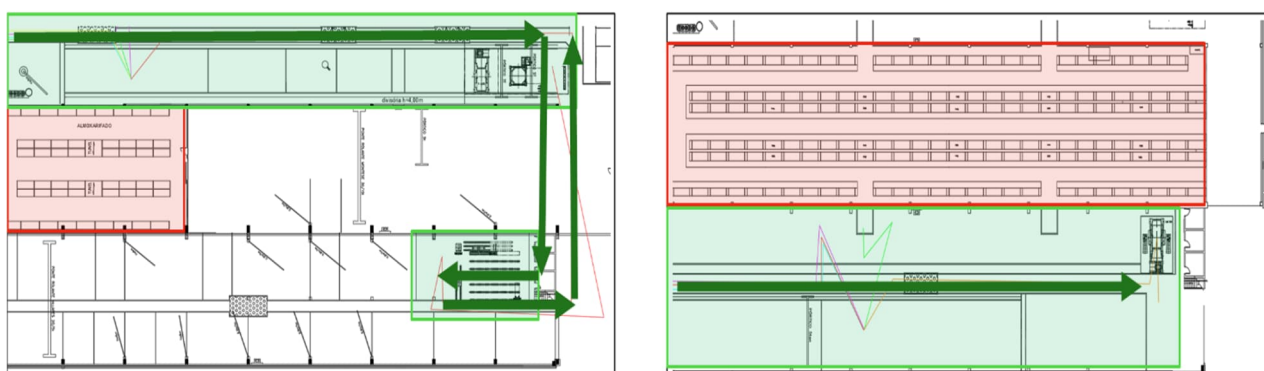
Tabela 10 – Distâncias de movimentação e transporte internos

	<i>Distância Atual (km)</i>	<i>Distância Proposta (km)</i>
<i>Entrega de materiais</i>	351,3	96,3
<i>Contrafluxo de máquinas</i>	147,0	0,0

Fonte: Própria autoria.

Com as aberturas laterais dos prédios, conectando montagem e almoxarifado, a distância para entrega de materiais terá uma redução de 72,6%, ou 255km ao ano. Já em relação à de montagem dos equipamentos, como mostrado nas Figuras 24 e 25, o contrafluxo seria completamente eliminado ao criar uma área específica para soldagem de equipamentos A e aumentar a capacidade de carga na área de montagem do equipamento B, ou seja, todo o transporte, exposição ao risco e necessidade de mão de obra dessas operações, seriam extinguidos.

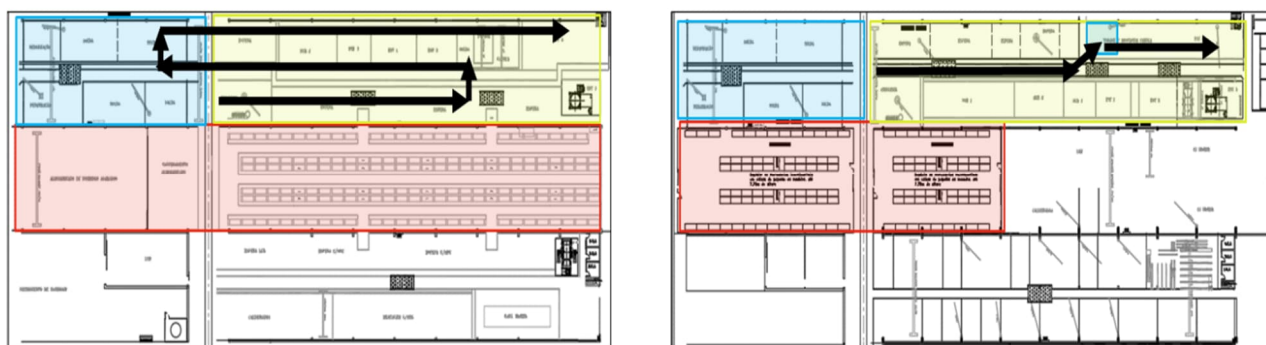
Figura 24 – Estado atual e proposta para teste do equipamento B



Fonte: Própria autoria.

A figura acima mostra o contrafluxo do equipamento B que, para ser testado precisa estar completamente montado, ultrapassando a capacidade de carga da área de montagem. Desse modo, a máquina é parcialmente montada e enviada à atual área disponível que possui a ponte rolante de 40 toneladas. Uma vez transportada, a montagem parcial é concluída e o equipamento é testado. Após o teste, é desmontada novamente e encaminhada ao prédio inicial para fechamento e conclusão da máquina, que necessita das ferramentas e dispositivos presentes na área. A distância total percorrida é igual a 260 metros e é realizada em média 15 vezes ao ano.

Figura 25 - Estado atual e proposta para soldagem do equipamento A



Fonte: Própria autoria.

A Figura 24 ilustra o percurso realizado de dois subconjuntos do modelo A, que começam no processo de montagem, são encaminhados pela solda, gerando um contrafluxo, e voltam para a montagem final, totalizando 240 metros por operação, realizada 596 ao ano.

A partir desses dados, foram encontrados os valores referentes à mão de obra dos almoxarifados e operadores de ponte rolante (Tabela 11).

Tabela 11 – Custos de mão de obra para movimentação e transporte interno de peças

	<i>Custo Atual (R\$)</i>	<i>Custo Proposto (R\$)</i>
<i>Operacional</i>	34.971,0	5.509,6

Fonte: Própria autoria.

Com a proposta, como citado anteriormente, a distância terá redução significativa e, além disso, será possível eliminar o aluguel mensal de R\$9.000,00 da tenda, uma vez que o almoxarifado interno irá ganhar 280 m² para estocagem de materiais diversos, distribuídos em porta-pallets.

O novo *layout* também possibilita o aumento da qualidade de fabricação, principalmente na montagem do produto C, que requer ambientes isolados de poeiras e outros tipos de impureza. A nova área destinada à essa montagem, apresenta pressão positiva e ambiente controlado, garantindo as condições necessárias.

Além dos ganhos supracitados é importante ressaltar que, com as alterações, será possível aumentar a capacidade de produção de todos os produtos, uma vez que forem reduzidos ou até mesmo mitigados, desperdícios relacionados à transporte, movimentação e ociosidade no trabalho. A quantidade de mão de obra também poderá passar por uma reavaliação e realocação, considerando a diminuição de tempo entre operações. O aumento da capacidade de carga e espaço disponível nas áreas possibilita que mais materiais sejam fabricados simultaneamente, eliminando

gargalos já existentes e, consequentemente, reduzindo o *leadtime* e custo final do produto, de forma a aumentar a competitividade de mercado.

Os ganhos relacionados à segurança não são mensuráveis, mas é indispensável destacar que, com a redução principalmente no uso de empilhadeiras e pontes rolantes, o risco de incidentes e até mesmo acidentes é reduzido proporcionalmente, uma vez que o operador reduz seu tempo de exposição à atividades de risco.

Após finalização do estudo, os dados e ganhos foram consolidados e, a fim de defesa da projeto, foi desenvolvido o modelo tridimensional de todo o *layout* interno, facilitando o entendimento e ilustrando as ideias propostas, como evidenciado na Figura 26.

Com o modelo 3D pronto e renderizado, foi estruturada a vista de todas as áreas em formato de vídeo, destacando as principais mudanças e benefícios. Os custos foram estimados junto à diferentes fornecedores que avaliaram os projetos *in loco*, permitindo a construção final da proposta de investimento.

Figura 26 – Modelo 3D da proposta de layout interno



Fonte: Própria autoria.

7. CONCLUSÃO

Por meio do estudo da implementação das mudanças propostas, foi possível observar resultados benéficos e significativos para a organização. No estudo do layout externo, houve uma redução de 77% na distância total de movimentação, impactando positivamente na eficiência das operações e na segurança dos processos. Ademais, essa redução contribuiu para uma redução da emissão de poluentes, estimada em mais de 30 toneladas de CO_2 anualmente. Financeiramente, a proposta resultou em uma economia anual significativa, reduzindo os custos relacionados à movimentação de empilhadeiras em 60,2%.

Para o estudo do layout interno, abrangendo montagens e almoxarifado, foram observadas reduções financeiras e nas movimentações físicas. Para esta, a distância para entrega de materiais foi reduzida em 72,6%, enquanto a eliminação do contrafluxo na montagem dos equipamentos permitiu eliminar totalmente a necessidade de transporte adicional, mão de obra extra e exposição aos riscos associados. Além disso, foi possível cortar o aluguel mensal de R\$9.000,00 da tenda, tendo em vista o ganho de área interna do almoxarifado. Essas alterações reduziram ou eliminaram os desperdícios relacionados ao transporte, movimentação e ociosidade, aumentando a capacidade de produção. A maior capacidade de carga e espaço disponível permite a fabricação simultânea de mais materiais, eliminando gargalos e reduzindo o *lead time* e o custo final dos produtos, aumentando a competitividade no mercado.

Dessa forma, concluiu-se que os novos layouts propostos demonstraram uma significativa melhoria em relação ao estado atual, implicando em uma redução de desperdícios. Os resultados contribuem para uma produção mais ágil e menos suscetível a gargalos, reforçando o compromisso com a melhoria contínua e a excelência operacional.

8. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram uma melhoria significativa na estruturação geral do *layout* dos almoxarifados e estações de trabalho, contribuindo para redução de desperdícios, otimização dos processos e aumento na segurança. No entanto, cabe ressaltar que o estudo não contemplou alguns conceitos da filosofia *Lean*, como o método 5S e o sistema Kanban nas estações analisadas.

Nesse sentido, sugere-se que estudos futuros explorem a implementação desses conceitos ao detalhar cada estação e subestação de trabalho, visando a padronização, gestão visual e eliminação de desperdícios não considerados anteriormente. A aplicação do 5S pode fortalecer a disciplina do ambiente de trabalho e melhorar suas condições, reduzindo ainda mais os desperdícios e movimentações (CARVALHO, 2021; CÔRREA e COSTA, 2023), enquanto o Kanban pode oferecer maior visibilidade e controle sobre o fluxo de tarefas e materiais.

Outra proposta futura é analisar a viabilidade de mudança na estrutura do *layout* de montagem de cada produto, verificando os custos e os retornos, além das demandas, para a alteração dos *layouts* fixos para lineares, com o objetivo de promover o aumento da capacidade fabril e a melhoria no controle de fabricação.

A investigação desses métodos no contexto abordado neste trabalho pode ampliar os benefícios já identificados, promovendo melhorias contínuas na gestão dos processos e nos resultados da organização. Além disso, a integração dessas ferramentas Lean com o *layout* estruturado pode servir de base para a criação de um modelo mais robusto e replicável em outras áreas ou empresas do mesmo setor.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C.M. **ANÁLISE DOS FLUXOS DO CANTEIRO DE OBRAS PELO USO DO DIAGRAMA ESPAGUETE**. Uberlândia: UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2020.

ARAUJO, D.L.A.; LEMOS, F.K.; VELOSO, L.S.; **Lean Manufacturing: Uma Revisão Sistemática de Literatura**. ENCONTRO DA ANPAD, 46., 2022, on-line. *Anais eletrônicos [...]*. Maringá: Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração, 2022.

BHASIN, S., BURCHER, P. **Lean viewed as a philosophy**. *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 17 n. 1, p. 56-72, 2006.

CARDOSO, I.M.; POJO, D.M.; MARTINS, H.S. **Proposta de reorganização de layout em uma microempresa familiar do ramo de restaurantes: uma aplicação do diagrama de espaguete com o software Edrawmax**. *Revista de Empreendedorismo e Gestão de Micro e Pequenas Empresas* V.9, Nº2, p.85-101, 2024.

CARVALHO, N.R. **Reorganização dos fluxos físicos e implementação do 5S em uma unidade de prototipagem de uma multinacional francesa do setor de gestão de energia e automação**. Guaratinguetá: Unesp, 2021.

CHIROLI, D. M. DE G.; CROZATTI, J. A. **Relatos Técnicos -Sistema KANBAN: proposta de implantação no setor de estoque de matéria prima de uma indústria metalúrgica**. *Revista da Micro e Pequena Empresa, Campo Limpo Paulista*, v. 10, n. 2, p. 82–96, 2016

DE AZEVEDO, K.D.G.C. **O Uso De Planejamento Sistemático De Layout E Simulação Para Auxiliar A Gestão De Produção De Uma Empresa De Ferramentas Abrasivas**. Campos dos Goytacazes: UENF, 2016.

DE CARVALHO, F.L.S.; CHRIST, J.S. **Proposta de melhoria do processo de corte em abatedouro de aves: um estudo de caso em uma indústria Capixaba**. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 7, n. 5, p. 230-251, 2021.

EMEC, S.; BILGE, P.; SELIGER, G. **Design of production systems with hybrid energy and water generation for sustainable value creation**. *Clean Technologies And Environmental Policy*, v. 17, n. 7, p.1807-1829, 2015.

Emerique, C.C.T.; Cardoso, J.R.L.; Freitas, F.F.T. **PLANEJAMENTO SISTEMATICO DE EMPRESA DO RAMO AUTOMOBILÍSTICO**. Belo Horizonte: Enegep, 2011.

FELIX, J. C., BARBOSA, L. C. M., VALENTE, A. F. de. A. **Um estudo sobre as condições de trabalho e layout industrial para a realização de mudanças em uma oficina de componentes ferroviários da mrslogística**. *Exacta*. 20(4), 1024-1048. 2022.

FREITAS, C. L. DE, RICHARTZ, F., & PFISTER, E. D. **Análise de sustentabilidade ambiental em uma indústria de bebidas: um enfoque no processo produtivo.** Revista Contemporânea De Contabilidade, 6(12), 35–52, 2009.

GAITHER, N.; FRAZIER, G. **Administração da Produção e Operações.** 8. ed. –São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2001.

GLP Energético de Transição. [s.l.] Sindigás, c2024. Disponível em: https://www.sindigas.org.br/Download/PUBLICACOES_SINDIGAS/glp-energetico-de-transicao-estudo-fernando-corner.pdf

GUIMARÃES, M.R.; GRANDER, G. **Proposta de adequação do layout de uma pizzaria por meio da aplicação do diagrama de espaguete.** PRODUTO & PRODUÇÃO, vol. 25, n.2, p. 1-13, 2024.

IKEZERI, L. M., MELO, J. C., CAMPOS, R. T., OKIMURA, L. I., & JUNIOR, J. A. G. **A perspectiva da indústria 4.0 sobre a filosofia de gestão Lean Manufacturing/ The industry 4.0 perspective on Lean Manufacturing management philosophy.** *Brazilian Journal of Development*, 6(1), 1274–1289, 2020.

Juran J.M. **Architect of Quality: The Autobiography of Dr. Joseph M. Juran.** McGraw-Hill, 2004.

LEE, Q. **Projeto de Instalações e do Local de trabalho.** São Paulo: IMAM, 1998.

LEXICO LEAN: Glossário Ilustrado para praticantes do Pensamento Lean. 4 ed. Lean Enterprise Institute, 2003

LIKER, J. **The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer.** Madison, WI, McGraw-Hill, 2004

LOBATO, E. D. C., & DOS SANTOS, R. B. **PLANEJAMENTO FINANCEIRO: UMA PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DA MATRIZ 5W2H COMO FERRAMENTA DA QUALIDADE NO SETOR FINANCEIRO DAS PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS (PMES).** *REVISTA FOCO*, 16(6), e2121.

MORAIS, I. **Técnicas de Engenharia Industrial.** Politécnico da Guarda - Escola Superior de Tecnologia e Gestão: Guarda, 2005.

MORATO, M.L.S. **Aplicação do Value Stream Mapping para redução de perdas e desperdícios na indústria da construção: uma revisão sistemática da literatura.** 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Ouro Preto, 2023.

MOURA, C.G., BORGES, W.J, MEINCHEM, E., CARLINI, G.C., OLIVEIRA, L. **Aplicação do Método SLP no desenvolvimento de um layout otimizado em uma empresa têxtil.** ScientiaTec, v.6 n.2, 2019

MOURA, P.K.; ZANI, C.M. **DESIGN THINKING: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA E INVESTIGAÇÃO PARA APLICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 18., 2020. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2020. p. 1–8

MUNIZ, A.; IRIGOYEN, A.; MAFRA, C.; TRIERVEILER, F.; VILLANOVA, G. **Jornada Kanban na prática: unindo teoria e prática para acelerar o aprendizado para quem está iniciando**. Rio de Janeiro: Brasport, 2021

NARUSAWA, T.; SHOOK, J. **Kaizen express**. São Paulo: Lean Institute Brasil, 2009

NOVAIS, L.F.S; SANTOS, I.F.; COSTA, G.O.; SILVA, M.P. **Uso do Diagrama de Espaguete no Setor de Armazenagem de Matérias-Primas em uma Indústria do Ramo Alimentício em Goiânia-GO**. Foz do Iguaçu: Enegep, 2021.

OLIVEIRA, I. M. D.; da PAZ, C. C.; da SILVA, A. M., & de PAULA FERREIRA, W. **Balanceamento de linha e arranjo físico: estudo de caso em uma linha de produção de cabines para máquinas de construção**. *Exacta*, 15(1),101-110. 2017

PRADO, M. B., JUNIOR, J. DA S. F., RAPHANHIN, J. F., & SARRETA, M. D. ÂNGELA M. **Determinação e gestão de causas raízes de falhas e proposta de melhoria por meio do 5W2H no setor de atendimento de uma pizzeria em de Minas Gerais**. *Brazilian Journal of Business*, 3(4), 3295–3305, 2021.

ROSAS J., et al. **Quality Improvement supported by the 5’S, an empirical case study of Mexican organisations**. *Internacional Journal of Production Research*, International Journal of Production Research, n. 23, vol. 48, pg. 7063-7087, 2010.

SANTOS FILHO, P. S. **Uma visão geral da eficiência energética na indústria e contribuições das metodologias: ciclo PDCA, 5W2H e WCM**. 63 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) - Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2021.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2002

TAICHII, O. **Toyota production system: beyond large-scale production**. Cambrige, Productivity Press, 1988

TOWILL, D.R. **Industrial engineering the Toyota Production System**. *Journal Of Management History*, v. 16, n. 3, p.327-345, 2010.

VAZ, E.T., FERNANDES, E. **PROPOSTA DE MELHORIA DE LAYOUT: A REORGANIZAÇÃO DOS PRODUTOS FÍSICOS E DOCAS EM UM CENTRO DE DISTRIBUIÇÃO COMO ESTRATÉGIA DE OTIMIZAÇÃO NA MOVIMENTAÇÃO DE**

MATERIAIS UTILIZANDO O DIAGRAMA DE ESPAGUETE. *South American Development Society Journal*, 9(27), 147, 2023.

WOMACK J., JONES D. **Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation.** New Jersey, Simon and Schuster, 1996

WOMACK J., JONES D., ROSS D. **The Machine That Changed the World.** New Jersey, Simon and Schuster, 1ªed., 1990