

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME TEODORO FERRIGATTO

**PROPOSTA DE MELHORIA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE TELAS DE
PROTEÇÃO PARA PASSARELAS UTILIZANDO CONCEITOS DA MANUFATURA
ENXUTA**

CURITIBA

2022

GUILHERME TEODORO FERRIGATTO

**PROPOSTA DE MELHORIA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE TELAS DE
PROTEÇÃO PARA PASSARELAS UTILIZANDO CONCEITOS DA MANUFATURA
ENXUTA**

**Proposal of improvement in a production line of protective mesh for highway
walkways applying lean manufacturing concepts**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Me. Osvaldo Verussa Junior

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GUILHERME TEODORO FERRIGATTO

**PROPOSTA DE MELHORIA EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE TELAS DE
PROTEÇÃO PARA PASSARELAS UTILIZANDO CONCEITOS DA MANUFATURA
ENXUTA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Prof. Me. Osvaldo Verussa Junior

Data de aprovação: 24 de junho de 2022

Oswaldo Verussa Junior
Mestre em Engenharia Mecânica e de Materiais
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carla Cristina Amodio Estorilio
Doutora em Engenharia de Produção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Cleina Yayoe Okoshi
Doutora em Engenharia de Produção e Sistemas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA
2022

Dedico este trabalho à minha família, por todo o apoio e suporte que me concederam durante o período deste curso de graduação.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dedicar este espaço para agradecer a todos que de alguma forma apoiaram e contribuíram com meu desenvolvimento durante a minha graduação. Desenvolvimento este que possibilitou a entrega deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Osvaldo Verussa Junior, pelos direcionamentos, sugestões e comentários sempre pertinentes ao longo do desenvolvimento do trabalho.

Aos demais mestres que repassaram seus conhecimentos em todas as disciplinas cursadas.

A todos os meus amigos que me acompanharam durante tantas noites de estudos.

Aos gestores e colegas de trabalho que contribuíram para o meu desenvolvimento profissional.

Enfatizo o meu agradecimento aos meus familiares que foram peça chave neste desafio. Sem o apoio e compreensão deles, nada teria sido possível.

Por fim, agradeço a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

Especialmente nas empresas, a busca da verdadeira economia tem relação direta com a sua sobrevivência. Portanto, devemos considerar este ponto com seriedade.
(OHNO, 1997).

RESUMO

Nos últimos anos, a indústria brasileira tem apresentado um cenário de baixa competitividade. Uma das causas é a diminuição da produtividade, que pode ter relação com o crescimento de uma indústria sem o devido planejamento em produção. Neste contexto, a manufatura enxuta apresenta conceitos e ferramentas que tem a finalidade de elevar os ganhos em produtividade através da busca pela eliminação completa dos desperdícios encontrados em um ambiente produtivo. Este trabalho propôs-se a apresentar melhorias no setor produtivo em uma empresa do segmento metalúrgico, aplicando os conceitos da manufatura enxuta e visando a diminuição de desperdícios dos recursos empregados no processo industrial em questão. Através do entendimento dos conceitos, coleta e análise de dados e aplicação das ferramentas *lean* e ferramentas utilizadas para melhorias de processos produtivos, o trabalho apresenta como entrega uma nova proposta de balanceamento, leiaute e fluxo de processos evidenciando ganhos e redução de desperdícios como redução na quantidade de operadores, melhor balanceamento de operações, redução de estoque e material em processo, redução no tempo de movimentação e transporte interno.

Palavras-chave: Melhoria de processos; manufatura enxuta; os sete desperdícios; produtividade; fabricação.

ABSTRACT

In recent years, the Brazilian industry has shown a scenario of reduced competitiveness. One of the causes is the decrease in productivity, which can be related to the growth of an industry without proper strategic planning. In this context, lean manufacturing presents concepts and tools that aim to increase productivity gains through the search for the complete elimination of wastes found in a productive environment. This work proposes to present improvements in the production processes in a metallurgical company, applying the concepts of lean manufacturing and aiming at the reduction of waste in the resources used in this specific industrial process. Through the understanding of concepts, data collection, analysis and application of lean tools and other tools used to improve production processes, the work presents as final results a new proposal for balancing, layout and process flow evidencing gains and waste reduction such as in the number of operators, better balancing of operations, reduction of stock and work in process, reduction in handling time and internal transportation.

Keywords: Process improvement; lean manufacturing; the seven wastes; productivity; manufacturing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Tela de proteção em passarela de rodovia	16
Figura 2 - Benefícios da redução de desperdícios	21
Figura 3 - Os sete desperdícios da produção	22
Figura 4 - Exemplo de um mapeamento de fluxo de valor	27
Figura 5 - Tempos de ciclo em uma linha de produção	28
Figura 6 - Fluxograma das etapas da metodologia	34
Figura 7 - Mapeamento de fluxo de valor	39
Figura 8 - Leiaute e fluxo de produção.....	40
Figura 9 - Representação gráfica do balanceamento atual	43
Figura 10 - Proposta de balanceamento	48
Figura 11 - Proposta de leiaute e fluxo de produção	50

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Ambiente produtivo	41
Fotografia 2 - Empilhadeira guincho	44
Fotografia 3 - Materiais no fluxo do processo	45
Fotografia 4 - Detalhe do sistema de Monovia	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Objetivos do arranjo físico	30
Quadro 2 - Ganhos da proposta de melhoria.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Movimentações internas entre processos.....	41
Tabela 2 - Cálculo do tempo disponível de produção.....	42
Tabela 3 - Mapeamento de operações e tempo de ciclo.....	43
Tabela 4 - Proposta de balanceamento de operações	48
Tabela 5 - Movimentações internas entre processos	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Definição do problema	16
1.2	Objetivos	17
1.3	Justificativa.....	18
1.4	Estrutura	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Conceitos utilizados na manufatura enxuta	20
2.1.1	Os 7 desperdícios.....	20
<u>2.1.1.1</u>	<u>Superprodução</u>	<u>22</u>
<u>2.1.1.2</u>	<u>Espera</u>	<u>23</u>
<u>2.1.1.3</u>	<u>Transporte</u>	<u>23</u>
<u>2.1.1.4</u>	<u>Processamento em excesso</u>	<u>23</u>
<u>2.1.1.5</u>	<u>Estoque</u>	<u>24</u>
<u>2.1.1.6</u>	<u>Movimentação</u>	<u>24</u>
<u>2.1.1.7</u>	<u>Defeitos</u>	<u>24</u>
2.1.2	5S	25
<u>2.1.2.1</u>	<u>Seiri</u>	<u>25</u>
<u>2.1.2.2</u>	<u>Seiton</u>	<u>25</u>
<u>2.1.2.3</u>	<u>Seiso</u>	<u>25</u>
<u>2.1.2.4</u>	<u>Seiketsu.....</u>	<u>26</u>
<u>2.1.2.5</u>	<u>Shitsuke.....</u>	<u>26</u>
2.1.3	Mapeamento de Fluxo de Valor.....	26
2.2	Conceitos utilizados para melhoria de processos de produção	27
2.2.1	Tempo de ciclo	28
2.2.2	Takt Time	28
2.2.3	Quantidade ideal de operadores	29
2.2.4	Balanceamento de uma linha de produção	29
2.3	Arranjo físico	30
2.3.1	Tipos de arranjo físico	31
<u>2.3.1.1</u>	<u>Arranjo físico posicional.....</u>	<u>31</u>
<u>2.3.1.2</u>	<u>Arranjo físico funcional</u>	<u>31</u>
<u>2.3.1.3</u>	<u>Arranjo físico celular</u>	<u>32</u>
<u>2.3.1.4</u>	<u>Arranjo físico em linha ou por produto.....</u>	<u>32</u>

2.4	Softwares aplicados na manufatura enxuta.....	32
2.4.1	Softwares para elaboração de leiautes	33
3	METODOLOGIA	34
3.1	Descrição da metodologia.....	35
3.2	Descrição das atividades.....	35
3.2.1	Conceitos do tema.....	35
3.2.2	Coleta de dados	35
3.2.3	Elaboração de MFV.....	36
3.2.4	Análise do leiaute e fluxo de produção.....	37
3.2.5	Cálculo do Takt Time.....	37
3.2.6	Balanceamento atual.....	37
3.2.7	Identificação dos desperdícios	38
3.2.8	Avaliação das ferramentas	38
3.2.9	Plano de ação - Proposta de melhoria	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Análise de dados	39
4.1.1	Elaboração MFV do cenário atual	39
4.1.2	Análise do leiaute e fluxo de produção do cenário atual	40
4.1.3	Cálculo do Takt Time.....	41
4.1.4	Balanceamento atual.....	42
4.1.5	Identificação dos desperdícios	44
4.1.6	Avaliação das ferramentas	46
4.2	Proposta de melhoria.....	46
4.2.1	Cálculo da quantidade ideal de operadores	46
4.2.2	Proposta de balanceamento de operações.....	47
4.2.3	Proposta de leiaute.....	49
4.2.4	Movimentação interna	51
4.3	Ganhos	51
5	CONCLUSÃO	53
	REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria brasileira tem apresentado um cenário menos competitivo quando comparada com a indústria de outros países desenvolvidos ou em desenvolvimento. Esta perda de competitividade é mensurada pelo custo unitário do trabalho, que representa o custo do trabalho para a produção de um bem, onde quanto maior o valor, menos competitiva é a indústria do país. Ele é influenciado por três fatores: salário, produtividade do trabalho e taxa de câmbio (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI, 2015).

De acordo com a CNI, um dos principais motivos que contribuíram para uma menor competitividade brasileira é a baixa produtividade.

Em busca de maior competitividade, as grandes indústrias têm adotado soluções e ferramentas de planejamento para reduzir custos e obter aumento de produtividade em operações de produção. Esta adoção de novas culturas e métodos também têm impacto em pequenas e médias empresas que precisam se adaptar para continuar fornecendo seus produtos e serviços dentro de critérios de produtividade, custos e qualidade exigidos pelo mercado.

O processo de planejamento estratégico tem a finalidade de maximizar os resultados das operações e minimizar os riscos das tomadas de decisão (TUBINO, 2015).

Para efetuar um planejamento estratégico da produção, a empresa precisa entender seus limites e habilidades de modo a criar vantagens competitivas em relação à concorrência, aproveitando de toda situação que lhe trouxer ganhos. A implantação das práticas da manufatura enxuta é uma delas (TUBINO, 2015).

Uma das principais filosofias utilizadas atualmente para essa finalidade, a manufatura enxuta, derivada do Sistema Toyota de Produção (STP), surgiu da necessidade de produção de pequenas quantidades e com muitas variações. Porém, o principal objetivo deste sistema é de aumentar a produtividade através da busca pela eliminação completa dos desperdícios encontrados no ambiente produtivo (OHNO, 1997).

A manufatura enxuta apresenta conceitos de redução de desperdícios que, quando combinados e analisados de maneira ampla e sistêmica, podem ser aplicados visando obter-se melhorias em diversos aspectos de um ambiente produtivo.

Para Shingo (1996) toda produção deve ser entendida como uma rede funcional de processos e operações, onde entender estes conceitos é fundamental para alcançar qualquer melhoria. Primeiro deve-se buscar a melhoria dos processos, e posteriormente a melhoria das operações.

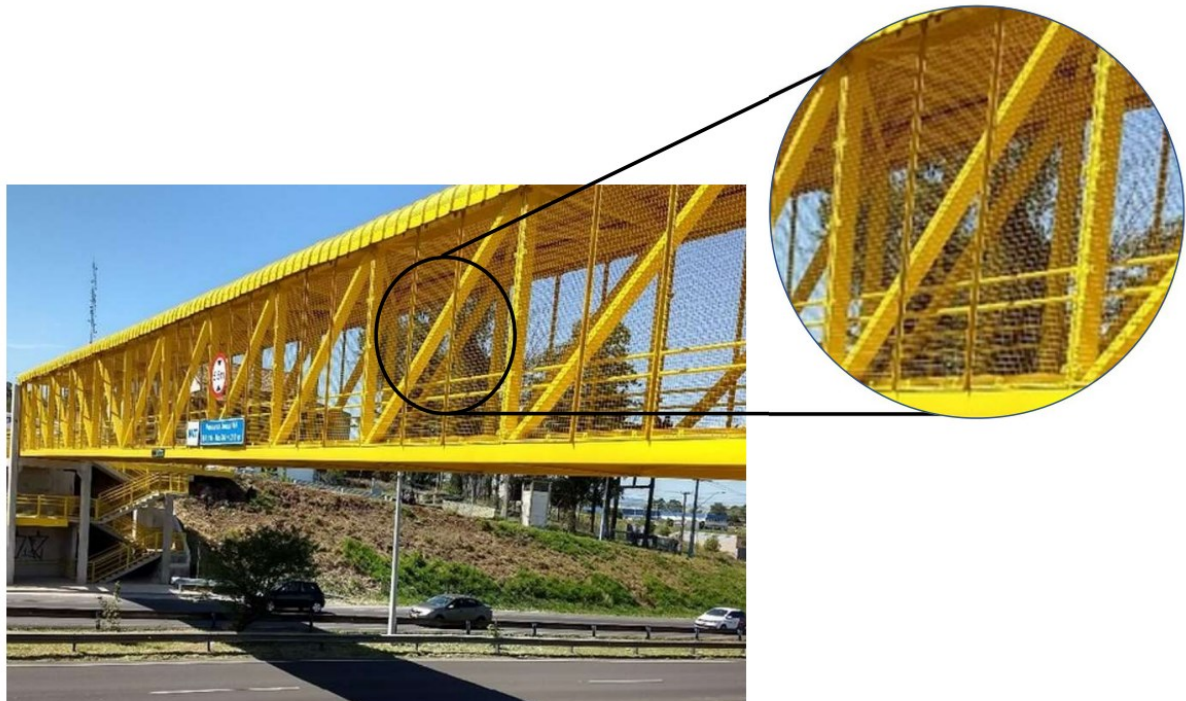
1.1 Definição do problema

Este trabalho visou estudar a viabilidade da aplicação dos conceitos da manufatura enxuta em um ambiente fabril real de uma empresa de pequeno porte localizada no interior do estado de São Paulo, atuante no setor metal mecânico, especificamente em uma linha de produção de telas de proteção para pedestres utilizada em passarelas.

O conjunto é composto pela tela metálica soldada nas barras laterais em aço, que posteriormente será soldado a estrutura da passarela.

A Figura 1 demonstra um exemplo da aplicação da tela em uma passarela de uma rodovia federal, assim como uma ampliação do produto de estudo.

Figura 1 - Tela de proteção em passarela de rodovia



Fonte: Adaptado de Agência GBC, Créditos: DNIT (2018)

A proposta de análise partiu da gestão da empresa, em conjunto com o autor deste trabalho após a constatação de que os custos de produção têm aumentado

consideravelmente por diversos motivos, tais como, o aumento em matéria-prima, aumento de mão de obra e aumento dos custos em equipamentos. Porém, mesmo com o aumento da demanda pelos produtos da empresa, não houve aumento significativo no lucro líquido.

Outro ponto considerado para esta análise foi o fato de a empresa ter expandido a carteira de clientes nos últimos anos em razão do crescimento de projetos da construção civil e de transposição. Por este motivo, houve crescimento rápido do parque produtivo da empresa sem o devido planejamento, para que fosse possível atender todos os clientes no prazo necessário. Durante este período, não foi possível obter uma análise profunda e estratégica sobre a capacidade produtiva, o fluxo de produção, fluxo de material e sobre os estoques de matéria-prima e material acabado.

Sendo assim, foi colocado em pauta a possibilidade de baixar os custos de produção e viabilizar o processo, através de técnicas e ferramentas de melhoria e otimização de processos e redução de desperdícios, de maneira que o aumento da produção tenha reflexo positivo no faturamento e lucro da empresa.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consistiu em propor melhorias no setor produtivo em uma empresa do segmento metalúrgico, aplicando os conceitos e ferramentas da manufatura enxuta e visando a diminuição de desperdícios dos recursos empregados no processo industrial em questão.

Os objetivos específicos são:

- Entender os conceitos básicos e ferramentas existentes na literatura referentes a manufatura enxuta;
- Adquirir informações do cenário atual do processo através da coleta e análise de dados;
- Identificar os tipos de desperdício no processo produtivo;
- Avaliar possíveis ferramentas relevantes ao estudo do cenário atual da empresa;
- Aplicar conceitos e ferramentas da manufatura enxuta no cenário atual;
- Apresentar um plano de ação com o foco em diminuição dos desperdícios na linha de produção;

1.3 Justificativa

Há muitos anos o tema de manufatura enxuta tem sido abordado e aplicado mundialmente dentro de indústrias que buscam elevar seus índices de produtividade. Contudo, ao buscar materiais acadêmicos e literaturas para embasar uma futura ação de melhoria, percebeu-se que há uma maior dificuldade em encontrar materiais voltados para as indústrias de pequeno e médio porte, ou então os materiais encontrados tendem a ser mais direcionados para um segmento específico de atuação.

Adicionalmente, na empresa estudada neste trabalho percebe-se que em praticamente todos os departamentos, a gestão é realizada pelos donos ou contam com a ajuda de familiares, que em alguns casos não possuem formação específica para a área que estão gerindo. Isto pode prejudicar a estratégia da empresa para aspectos importantes durante o crescimento de uma organização, sendo um deles o planejamento de produção.

A importância deste trabalho se justifica pelo fato de buscar ferramentas mundialmente conhecidas e aplicá-las em um cenário real de uma indústria de pequeno porte, evidenciando a possibilidade de se fazer planejamento e gestão de produção mesmo sem grandes recursos e investimentos.

Para a academia, este trabalho visa deixar uma contribuição relevante ao tema de planejamento de produção, e possibilitar que interessados do assunto possam consultá-lo de modo que venha a agregar e auxiliar em suas demandas acadêmicas ou empresariais.

Para o autor, a contribuição se faz na possibilidade de aplicar conhecimentos adquiridos durante a graduação e combiná-los com experiências práticas obtidas através da atuação na indústria. Algumas disciplinas cursadas servirão de base para a elaboração deste trabalho de conclusão, como exemplo Metodologia de Pesquisa, Gestão da Produção, Análise de Custos, Produção Enxuta, entre outras.

1.4 Estrutura

A estrutura deste trabalho se divide em cinco capítulos, os quais serão descritos a seguir.

O capítulo 1 apresenta uma introdução ao assunto, a definição e caracterização do problema e a justificativa do tema escolhido.

O capítulo 2 aborda a fundamentação teórica relevante para o desenvolvimento do trabalho.

No capítulo 3, a metodologia adotada no projeto será detalhada.

O capítulo 4 traz os resultados e discussões sobre a aplicação do método e os aspectos operacionais relacionados ao desenvolvimento do trabalho.

No quinto e último capítulo será apresentada a conclusão, seguida das referências.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo aborda os principais conceitos da manufatura enxuta através de revisões bibliográficas de autores relevantes do tema. A filosofia e o pensamento enxuto ficaram conhecidos principalmente por estarem enraizados nos conceitos do Sistema Toyota de Produção (STP), portanto referências e bibliografias do STP também poderão ser apresentadas no desenvolvimento da fundamentação teórica.

Além disso, o item 2.2 apresenta importantes conceitos utilizados para melhoria em processos produtivos e que podem ser combinados com os conceitos da manufatura enxuta.

A finalidade principal deste capítulo é fornecer uma base conceitual para atender o objetivo de aplicação deste trabalho em buscar as metodologias para redução de desperdícios e aumento de produtividade no ambiente industrial.

As principais técnicas e ferramentas utilizadas necessárias para o estudo deste trabalho serão detalhadas a seguir.

2.1 Conceitos utilizados na manufatura enxuta

O sistema de produção enxuta surgiu no Japão na década de 50, sendo denominado de Sistema Toyota de Produção (STP). Ohno (1997) possuía o objetivo de criar um sistema que possibilitasse a produção de uma grande variedade de modelos de automóveis em pequenas quantidades e, além disso, alcançar os índices de produtividade que eram observados nos Estados Unidos na época, que era o berço do sistema de produção em massa.

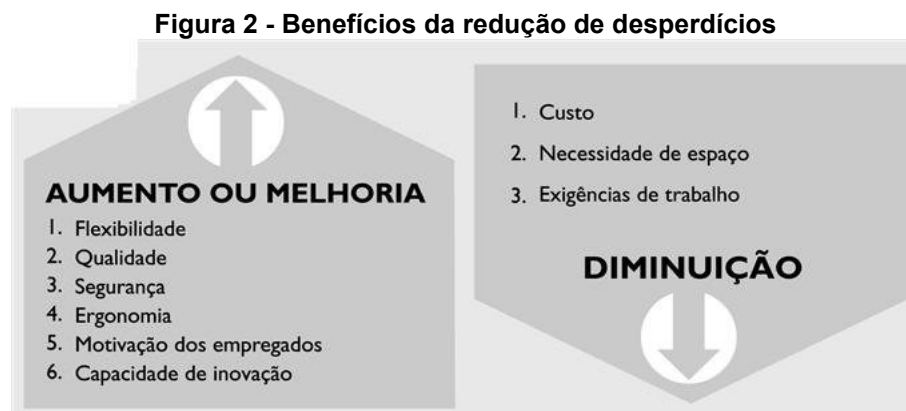
2.1.1 Os 7 desperdícios

O primeiro passo no pensamento enxuto é entender o que é valor e quais atividades e recursos são necessários para que seja possível criar este valor. Uma vez que entendido este conceito, todo o restante das atividades envolvidas pode ser considerado como desperdício (POPPENDIECK, 2002).

Os sete desperdícios são etapas que não agregam valor no produto final e não possuem valor na visão do cliente. A existência dos desperdícios no processo produtivo pode implicar em aumento do custo de produção, redução de qualidade e aumento do tempo de entrega ao cliente (SOLIMAN, 2014).

É muito difícil que o executor da atividade sem o devido treinamento ou capacitação, seja o responsável pela identificação destes desperdícios. Por este motivo, a tarefa de determinar o que é valor e o que agrega valor costuma ser realizada e acompanhada por um nível mais alto da organização, além de especialistas em manufatura enxuta.

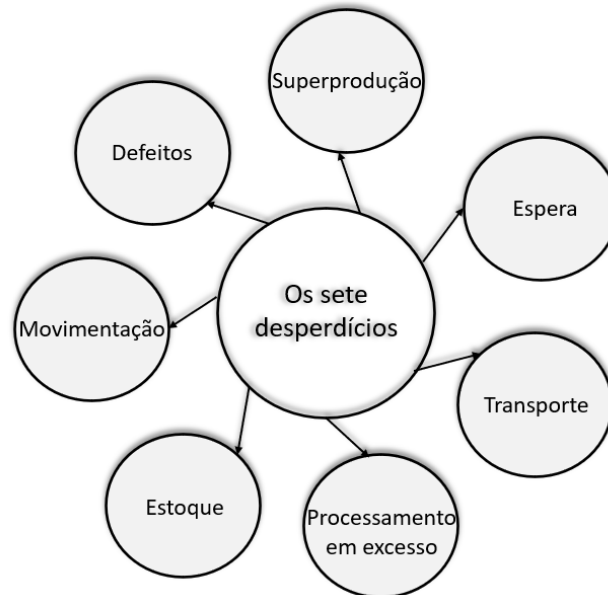
Taiichi Ohno (1997), um dos principais responsáveis pela concepção do Sistema Toyota de Produção e conseqüentemente da manufatura enxuta apontou que a verdadeira melhoria na eficiência só acontece quando produzimos zero desperdício e elevamos a porcentagem de trabalho para cem por cento. Ainda segundo o mesmo autor, a eliminação completa desses desperdícios pode aumentar a eficiência de operação por uma ampla margem. A Figura 2 lista os benefícios da redução de desperdícios.



Fonte: Werkema (2021)

Ohno (1997) identificou sete tipos de desperdícios na produção, que podem ser visualizados na Figura 3.

Figura 3 - Os sete desperdícios da produção



Fonte: Autoria própria (2021)

São estes, Superprodução, espera, transporte, processamento em excesso, estoque, movimentação e defeitos.

Um oitavo desperdício começou a ser adotado mais recentemente por alguns autores, como é o caso de Tubino (2015) que utiliza a denominação de desperdício intelectual. Segundo o autor, este desperdício tem a finalidade de dar realce ao fato de não aproveitar ideias e sugestões dos colaboradores.

Como consequência desse não aproveitamento intelectual, tem-se a identificação tardia de problemas, além de ter a experiência e talentos das pessoas desperdiçados.

Este oitavo desperdício não será abordado durante o desenvolvimento deste trabalho acadêmico, pelo fato de estar relacionado com o tema de gestão de pessoas.

2.1.1.1 Superprodução

Para Ohno (1997), o desperdício por superprodução representa a pior das perdas, pois tende a esconder outras perdas, como, as perdas por produção de produtos defeituosos e as perdas derivadas da espera do processo e espera do lote.

Shingo (1996) afirma que eliminar os desperdícios decorrentes da superprodução é um dos objetivos iniciais do Sistema de Produção Enxuta. O autor classifica os desperdícios de superprodução em dois tipos: Superprodução

quantitativa e Superprodução por antecipação. A superprodução quantitativa se refere ao excesso de produção, sendo superior a demanda necessária e contribuindo para o aumento de estoque. Já a superprodução por antecipação se refere ao ato de antecipar as necessidades das próximas células de trabalho. Uma linha de produção não balanceada pode contribuir para este tipo de desperdício.

2.1.1.2 Espera

Liker (2005) cita que a espera consiste no tempo em que o funcionário está apenas para vigiar uma máquina ou esperando o próximo passo para o processamento, ferramenta, suprimento, peça etc. Ou também por simplesmente não ter trabalho a ser executado devido à falta de estoque, atrasos no processamento, interrupções e gargalos.

Para Tubino (2015), espera é o tempo que o produto passa na fábrica sem ser processado, movimentado ou inspecionado. O autor complementa que talvez este seja o desperdício mais clássico e o mais encontrado em sistemas produtivos em lotes.

2.1.1.3 Transporte

As perdas associadas ao transporte estão relacionadas as atividades de movimentação de materiais que não adicionam valor e geram custos. Deste modo, a organizações devem realizar uma busca incessante da eliminação do transporte (SHINGO, 1996).

Adicionalmente, para Slack *et al.* (2009) a movimentação de materiais dentro da fábrica, assim como a dupla ou tripla movimentação do estoque em processo não agregam valor. Mudanças no arranjo físico que aproximem os processos ou otimizem os métodos de transporte podem contribuir para a redução deste desperdício.

2.1.1.4 Processamento em excesso

O excesso de processamento refere-se a qualquer etapa do processo de fabricação que seja desnecessário e com isto, desprender recursos sem a devida necessidade, ocasionando o desperdício e o aumento de custos.

Para Dennis (2007) essa é uma forma sutil de desperdício, e está relacionada a fazer mais do que o cliente exige. Este desperdício é comum em empresas

conduzidas por departamentos de engenharia, que visam aplicação de sua tecnologia ou são comprometidas em atingir um determinado objetivo técnico e podem acabar perdendo o contato com o que o cliente realmente deseja.

2.1.1.5 Estoque

O desperdício de estoque é um efeito direto do desperdício de superprodução, onde cria-se a necessidade de ter que armazenar as sobras do que foi produzido e não foi consumido. Como consequência, maiores espaços físicos serão utilizados para armazenagem, aumentando os custos e dificultando o controle de estoque e aplicação do FIFO – *First in First out*, ou em português, “o primeiro (material) que entra é o primeiro que sai” (TUBINO, 2015).

2.1.1.6 Movimentação

A Movimentação de itens em torno da operação, assim como a manipulação dupla e tripla de componentes, não agrega valor, sendo consideradas desperdícios da produção. Mudanças do arranjo físico que aproximam os processos e melhoram os métodos de transporte e a organização do local de trabalho podem reduzir o desperdício (SLACK *et al.*, 2009).

Para Dennis (2007) os desperdícios de movimentação podem ser tanto relacionados a fatores humanos, quanto máquinas. O autor acrescenta que estes desperdícios estão relacionados com o arranjo físico e a ergonomia da estação de trabalho, por exemplo quando o operador precisa caminhar, realizar movimentos de torção, de alcance e entre estações de trabalho que poderiam ser evitados. Este tipo de desperdício pode afetar negativamente a qualidade, produtividade e segurança da operação.

2.1.1.7 Defeitos

O desperdício de defeito está relacionado com produzir e ter que realizar o reparo de produtos defeituosos. Envolve todo o material, mão de obra, energia e tempo empregados na produção e correção destes produtos (DENNIS, 2007).

Para Tubino (2015) e Monden (1984) este desperdício é sem dúvida o mais elementar em uma fábrica pois utilizar matérias-primas, máquinas e pessoas para

gerar produtos defeituosos não é uma boa prática e é um fator desmotivador para as pessoas, independentemente de seu nível hierárquico.

A origem dos defeitos pode vir de procedimentos executados incorretamente, produção de lotes econômicos muito grandes que escondem os problemas ou então equipamentos desregulados sem manutenção (TUBINO, 2015).

Com o entendimento da existência de desperdícios no processo produtivo, criaram-se ferramentas de modo a reduzi-los ou mitigá-los. Estas serão abordadas nos itens seguintes.

2.1.2 5S

O programa 5S (*seiri, seiton, seiso, seiketsu e shitsuke*) tem o objetivo de gerar uma mudança de conduta e de comportamentos com reflexos positivos na organização, limpeza e disciplina através da conscientização de todos os envolvidos que interagem em um ambiente.

2.1.2.1 Seiri

O *Seiri* traz o conceito de senso de utilização, com a finalidade de se analisar os recursos e identificar o que é realmente necessário para a operação e o que pode ser descartado. Com isto, tende-se a ganhar em liberação de espaço, melhoria em segurança e eliminação de obstáculos (NATALI, 1995).

2.1.2.2 Seiton

Para Natali (1995), este conceito está relacionado com o de arrumação ou organização. É uma atividade para que ocorre após o *Seiri* para que os materiais sejam dispostos de maneira a simplificar seu uso.

2.1.2.3 Seiso

O *Seiso*, ou senso de limpeza, é a etapa em que a limpeza é realizada e onde também busca-se identificar atividades que podem impactar na limpeza do ambiente de trabalho. Cada usuário de máquinas e equipamentos, são responsáveis pela limpeza e manutenção (NATALI, 1995).

2.1.2.4 Seiketsu

O Seiketsu é o senso de procurar fazer o cuidado permanente do ambiente, do corpo e da mente. As melhorias promovidas pelos três Sentos anteriores precisam ser mantidas e aperfeiçoadas. Esta prática permanente torna-se um hábito e estimula a revisão dos valores éticos e morais, desenvolvendo a autoestima (MARTINS, 2019).

2.1.2.5 Shitsuke

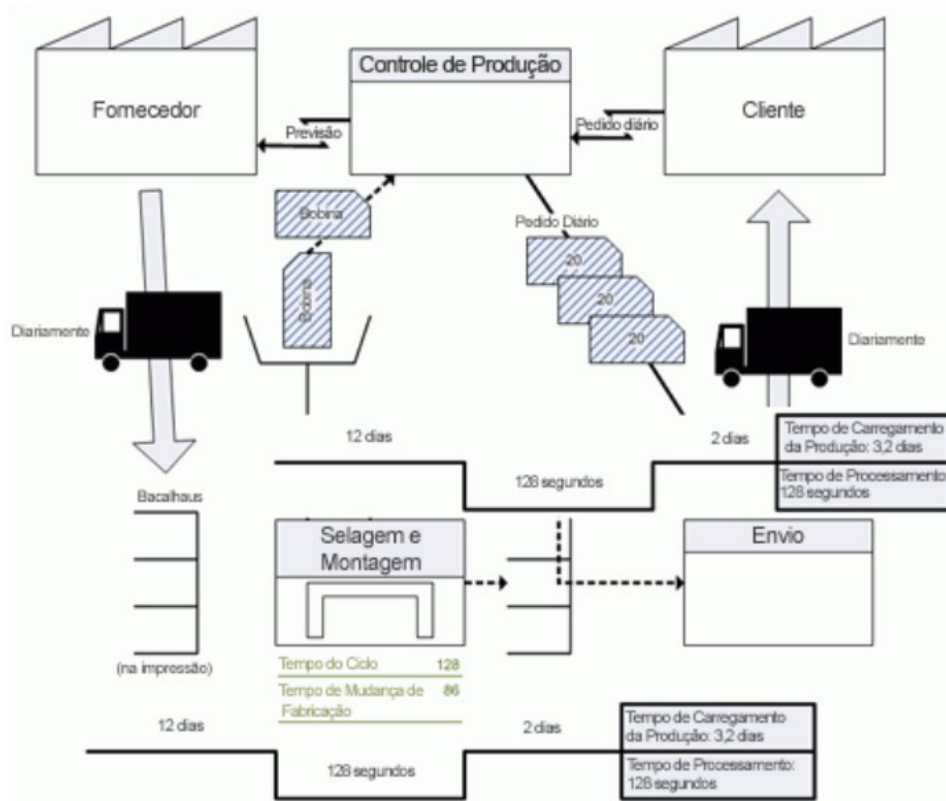
O *Shitsuke*, ou senso de disciplina, procura a manutenção da nova ordem estabelecida pelos demais “sentos”. Implica em cumprir rigorosamente as normas e tudo aquilo que for decidido pelo grupo. Portanto, considera-se a disciplina como um sinal de respeito aos outros. Assim, à medida que as pessoas se mantêm comprometidas com o fiel cumprimento dos padrões técnicos e éticos, é produzida uma evidente melhoria individual e organizacional (MARTINS, 2019).

2.1.3 *Mapeamento de Fluxo de Valor*

O fluxo de valor consiste em todas as atividades realizadas por uma empresa para projetar, produzir e entregar seus produtos aos clientes, sendo constituído pelos seguintes elementos: Fluxo de materiais, Transformação de matéria-prima e produto acabado e fluxo de informações (WERKEMA, 2021).

O Mapeamento do Fluxo de Valor (MFV) baseia-se na elaboração de um “mapa” que mostra como é o fluxo de materiais ou informações. Este mapa tem início na cadeia de fornecedores, passa pela empresa e finaliza no cliente, percorrendo assim todo o caminho do processo de transformação da matéria prima. Através da análise do mapa do fluxo de valor é possível entender quais são as etapas que agregam valor ou não no produto acabado, propor melhorias de processos e visualizar onde é possível aplicar ferramentas para redução de desperdícios e aumento de eficiência produtiva. A Figura 4 apresenta um exemplo.

Figura 4 - Exemplo de um mapeamento de fluxo de valor



Fonte: Suporte Microsoft (2021)

Na figura acima, as linhas retas representam o fluxo de materiais e as linhas tracejadas representam o fluxo de informações. A figura do caminhão mostra a modalidade de transporte rodoviário adotada entre o fornecedor e a fábrica e entre a fábrica e o cliente. Os cartões hachurados são cartões *Kanban*, sendo utilizados como uma ferramenta da administração de produção que controla a sequência e quantidade a ser produzida. Além disso, o retângulo com o título de “Selagem e Montagem” representa a célula de produção, sendo precedida pelo símbolo de estoque supermercado.

Para o mapeamento completo do fluxo de valor, assim como para uma melhor implementação dos princípios da manufatura enxuta, é preciso entender também alguns conceitos utilizados em processos produtivos em geral.

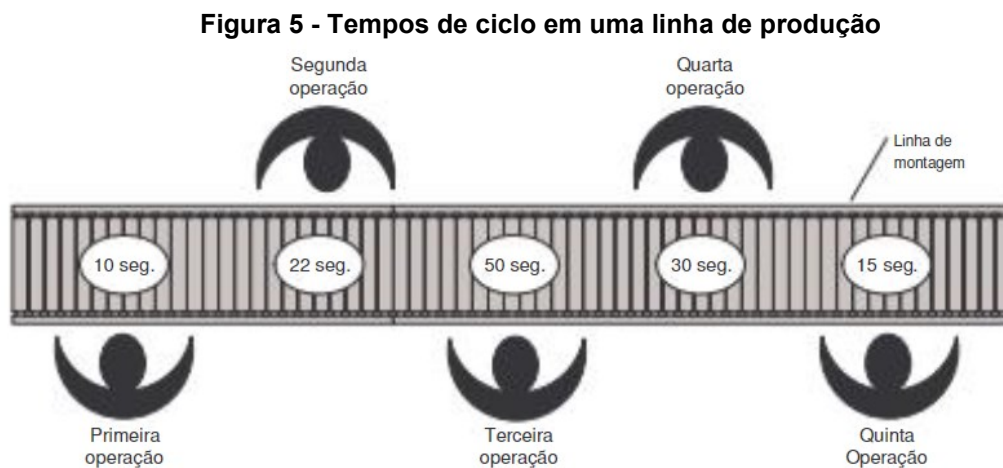
2.2 Conceitos utilizados para análise e controle de processos de produção

A seguir serão apresentados alguns dos principais conceitos de processos de produção que serão utilizados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

2.2.1 Tempo de ciclo

Peinado e Graeml (2007) definem que o Tempo de Ciclo é o tempo que uma linha de produção demora para montar uma peça. No processo produtivo, este tempo é o máximo permitido para cada estação de trabalho antes de passar a tarefa para a estação seguinte.

Para Slack *et al.* (2009), o tempo de ciclo é normalmente aplicado a processos “rítmicos”, como o mover das esteiras das linhas de montagem. É a “batida” ou o tempo de trabalho necessário para atender à demanda. A Figura 5 mostra um exemplo dos tempos de ciclo de diferentes atividades em uma linha de produção.



2.2.2 Takt Time

Dennis (2007) aponta que diferentemente do Tempo de Ciclo, que é o tempo real do processo, o *Takt Time* nos mostra a nossa frequência de demanda, ou seja, em quanto tempo devemos produzir determinado produto. O autor complementa que, o nosso objetivo deve ser sincronizar o *Takt Time* e o tempo de ciclo o máximo possível, permitindo a integração dos processos entre as células de trabalho e possibilitando o fluxo contínuo de produção em partes únicas ou pequenos lotes.

Ainda de acordo com Dennis (2007), o *Takt Time* pode ser calculado conforme a Fórmula (1), descrita abaixo:

$$Takt\ Time = \frac{TD}{D} \quad (1)$$

Onde:

TD = tempo disponível de produção por dia;

D = demanda de produção por dia.

2.2.3 Quantidade ideal de operadores

A partir da medição dos tempos de ciclo é possível definir o conteúdo de trabalho (*Work Content* ou *WC*), onde este é soma total dos tempos de ciclo das operações ou sub-operações em uma linha de produção (HAMEL, 2013).

Definido o conteúdo total de trabalho, é possível calcularmos a quantidade ideal de trabalhadores, neste trabalho denominado como *MOD*, na linha de produção em questão. Com isso, temos a Fórmula (2):

$$MOD = \frac{WC}{TT} \quad (2)$$

Onde:

WC = Conteúdo de trabalho total;

TT = *Takt Time*.

2.2.4 Balanceamento de uma linha de produção

Em 2019, metade das indústrias extrativas e de transformação declararam ter problemas com falta de mão de obra qualificada e o problema é acentuado na área de produção. Entre estas empresas, quase a totalidade (96%) apontam dificuldades para conseguir operadores (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI, 2020). Este fato pode refletir diretamente em um elevado custo de mão de obra, considerando recrutamento, seleção, treinamento e desenvolvimento. Por este motivo, o balanceamento das atividades, buscando a eficiência do processo de modo a reduzir ociosidade, vem a ser grande aliado da produtividade e redução de custos.

O balanceamento de linha de produção consiste na atribuição de tarefas às estações de trabalho que formam a linha de produção, de forma que todas as estações demandem aproximadamente o mesmo tempo para a execução da tarefa, minimizando o tempo ocioso de mão-de-obra e equipamentos. (PEINADO e GRAEML, 2007).

2.3 Arranjo físico

O Arranjo físico, também denominado de leiaute, de uma operação ou processo diz respeito ao posicionamento das pessoas e instalações dentro de uma unidade produtiva.

Para Peinado e Graeml (2007), o maior benefício do arranjo físico está, justamente, na divisão do trabalho em tarefas elementares, com curvas de aprendizagem próximas a cem por cento.

A decisão de elaboração de um arranjo físico é importante porque sua concepção errada pode provocar padrões de fluxo muito longos, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis, altos custos e baixa resposta de operação (SLACK *et al.*, 2009).

Slack *et al.* (2009), ainda pontua que os objetivos de qualquer arranjo físico dependerão das metas estratégicas de uma operação, mas existem alguns objetivos gerais que são relevantes a todas as operações.

Quadro 1 - Objetivos do arranjo físico

Segurança contra riscos acidentais	Este é o pré-requisito para qualquer arranjo físico em qualquer tipo de operação.
Segurança contra riscos intencionais	Instalações e arranjos físicos deverão garantir que qualquer um com intenções maliciosas não possa obter acesso a funcionários, clientes ou instalações.
Extensão do fluxo	O fluxo de materiais, informações ou clientes deverá ser canalizado pelo arranjo físico a fim de que seja apropriado aos objetivos da operação, minimizando a distância percorrida pelos recursos em transformação.
Minimizar atrasos	O posicionamento inconveniente das instalações, ou uma capacidade insuficiente alocada a partes do arranjo físico podem causar atrasos.
Reduzir o trabalho em andamento	O arranjo físico de um processo pode ser usado deliberadamente para limitar a capacidade de acúmulo de itens
Clareza do fluxo	Todo o fluxo de materiais e clientes deverá ser bem sinalizado, claro e evidente, tanto para funcionários quanto para clientes.
Condições dos funcionários	Os arranjos físicos podem ser organizados de modo que os funcionários fiquem localizados longe de partes barulhentas ou desagradáveis da operação.
Comunicação	A comunicação entre os funcionários pode ser particularmente importante para alguns tipos de operação e os arranjos físicos podem ser projetados para promover esta comunicação.
Coordenação da administração	Supervisão e comunicação deverão ser assistidas pela localização relativa do pessoal, pelo uso de dispositivos de comunicação e pontos de informação.
Acessibilidade	Todas as máquinas, plantas ou equipamentos deverão ser acessíveis em grau suficiente para a devida inspeção, limpeza e manutenção.

Uso do espaço	Os arranjos físicos deverão proporcionar uso apropriado do espaço total disponível na operação (incluindo a altura e o espaço do piso). Isso geralmente significa minimizar o espaço utilizado para a finalidade particular.
Uso do capital	O investimento de capital deverá ser minimizado (coerentemente com outros objetivos) quando se finaliza o arranjo físico.
Flexibilidade a longo prazo	Os arranjos físicos precisam ser alterados periodicamente, à medida que mudam as necessidades da operação. Um bom arranjo físico terá sido planejado visando as possíveis necessidades futuras da operação.
Imagem	O arranjo físico de uma operação pode ajudar a moldar a imagem de uma organização. A aparência de um arranjo físico pode ser usada como tentativa deliberada de estabelecer a marca de uma empresa.

Fonte: Adaptado de Slack et al. (2009)

2.3.1 Tipos de arranjo físico

Slack *et al.* (2009) e Peinado e Graeml (2007) convergem indicando que os arranjos físicos mais práticos são derivados apenas de quatro tipos básicos. São eles:

- (i) Arranjo físico de posição fixa (posicional).
- (ii) Arranjo físico funcional.
- (iii) Arranjo físico celular.
- (iv) Arranjo físico em linha (ou “por produto”).

Os quatro tipos de arranjo físico serão conceituados nos próximos itens.

2.3.1.1 Arranjo físico posicional

Também conhecido como arranjo de posição fixa, onde o produto não se movimenta entre as estações de trabalho, mas sim os equipamentos e operadores.

Neste tipo de arranjo físico, em vez de materiais, informações ou clientes fluírem por uma operação, quem sofre o processamento fica no lugar, enquanto equipamento, maquinário, instalações e pessoas movem-se na medida do necessário. Isso pode ocorrer porque o produto ou o receptor do serviço é muito grande para ser movido de forma conveniente, pode ser muito delicado para ser movimentado ou, talvez, pode recusar-se a ser movido. (SLACK *et al.*, 2009).

2.3.1.2 Arranjo físico funcional

O arranjo físico por processo ou funcional, agrupa em uma mesma área todos os processos e equipamentos do mesmo tipo e função. Este arranjo também pode agrupar operações e montagens semelhantes e são os materiais e produtos que se

deslocam procurando os diferentes processos necessários (PEINADO e GRAEML, 2007).

Quando produtos, informações ou clientes fluem pela operação, eles percorrem um roteiro de atividade a atividade, de acordo com suas necessidades. Diferentes produtos ou clientes terão diferentes necessidades e, portanto, percorrerão diferentes rotas. Isso pode fazer com que o padrão de fluxo na operação seja bastante complexo (SLACK *et al.*, 2009).

2.3.1.3 Arranjo físico celular

Para Peinado e Graeml (2007) arranjo físico celular consiste em arranjar em um só local, conhecido como célula, máquinas diferentes que possam fabricar o produto inteiro. O material se desloca dentro da célula procurando os processos necessários, porém o deslocamento ocorre em linha.

Slack *et al.* (2009) aponta que a própria célula pode ser organizada em um arranjo físico funcional ou em linha. Após serem processados na célula, os recursos transformados podem seguir para outra célula. Os autores ainda complementam que o arranjo físico celular é uma tentativa de pôr alguma ordem na complexidade do fluxo que caracteriza o arranjo físico funcional.

2.3.1.4 Arranjo físico em linha ou por produto

O Arranjo físico em linha ou por produto consiste em dispor os recursos de transformação conforme uma melhor conveniência dos recursos transformados. Cada produto, elemento de informação ou cliente segue um roteiro em que a sequência de atividades coincide com a sequência na qual os processos foram definidos fisicamente. O fluxo é previsível e relativamente fácil de controlar. Neste tipo de arranjo, são os requisitos padronizados do produto ou serviço que fazem com que a produção escolha arranjos físicos em linha (SLACK *et al.*, 2009).

2.4 Softwares aplicados na manufatura enxuta

Atualmente, com o avanço da tecnologia computacional, as ações de melhoria pautadas nos conceitos da manufatura enxuta contam com o auxílio de Softwares que podem ou não ser concebidos com foco em produtividade industrial.

Para o desenvolvimento deste trabalho, alguns softwares disponíveis no mercado poderão ser utilizados com a finalidade de apoiar as análises e decisões, simular cenários futuros e validar as propostas de plano de ação que vierem a ser apontadas como relevantes para alcançar os objetivos do projeto.

2.4.1 Softwares para elaboração de leiautes

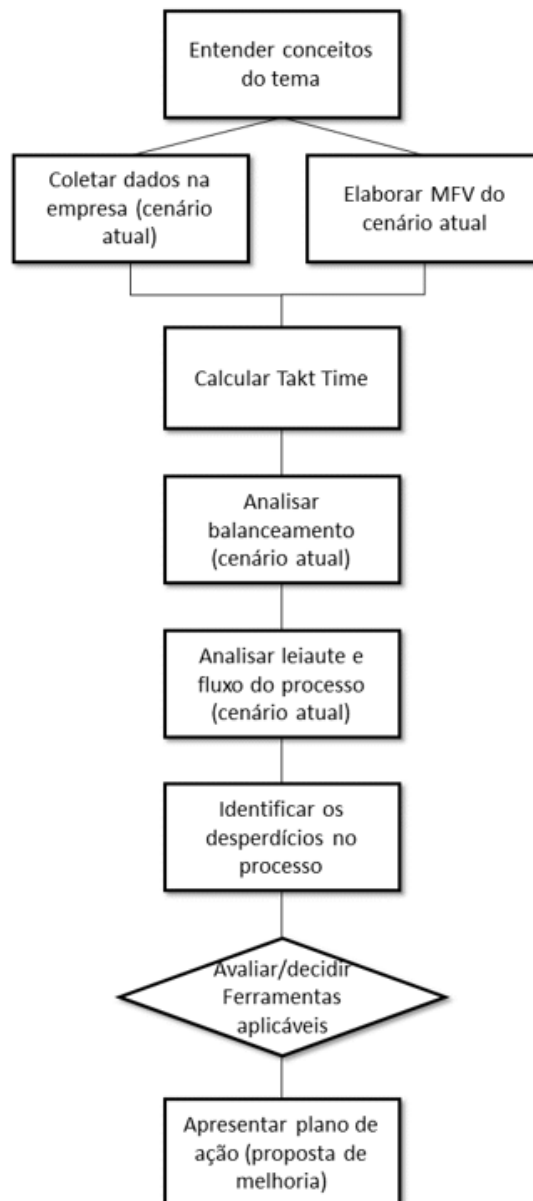
Antigamente concebidos através de conhecimento em desenho técnico manual, atualmente as organizações têm adotado ferramentas computacionais CAD (*Computer-aided design*) para a elaboração de leiautes industriais.

Como exemplo deste tipo de ferramenta temos o AutoCAD®, que é um software CAD da empresa Autodesk, Inc® e que de acordo com eles, arquitetos, engenheiros e profissionais de construção utilizam para criar desenhos 2D e 3D precisos, além de outras possibilidades. Este será o software adotado neste trabalho por se tratar do mesmo utilizado pela empresa estudada.

3 METODOLOGIA

O capítulo três é reservado à descrição, desenvolvimento e aplicação da metodologia do trabalho. Sendo assim, este aborda os métodos e processos de modo a sintetizar os passos da aplicação da metodologia adotada, possibilitando o uso adequado das ferramentas estudadas na revisão bibliográfica. Um fluxograma é apresentado na Figura 6 para melhor exemplificar as etapas.

Figura 6 - Fluxograma das etapas da metodologia



Fonte: Autoria própria (2021)

3.1 Descrição da metodologia

A metodologia do trabalho foi dividida em três grandes frentes, ou três macros divisões:

- (i) Revisão de literatura e entendimento de conceitos relevantes ao tema escolhido;
- (ii) Coleta de dados e análise do cenário atual;
- (iii) Proposta de melhoria (cenário futuro) e validação da proposta.

Cada frente se desdobrou em algumas atividades sequenciais e necessárias para o bom andamento do projeto. Estas atividades estão diretamente vinculadas ao objetivo do trabalho já definido anteriormente.

3.2 Descrição das atividades

Ainda neste capítulo, cada etapa do método adotado é explicada de forma mais abrangente, de modo a buscar que a adoção desta metodologia seja justificada e esteja em convergência com o tema proposto.

3.2.1 Conceitos do tema

Esta etapa consistiu no estudo prévio e entendimento do tema pelo autor, para que o desenvolvimento do trabalho esteja embasado nas melhores práticas e ferramentas utilizadas no mercado, e também sugeridas por autores relevantes do tema.

O capítulo dois (fundamentação teórica) teve grande contribuição nesta etapa, visto que para a escrita deste foi necessária uma pesquisa profunda acerca do tema através de literaturas clássicas e artigos recentes elaborados por diversos autores com diferentes perfis de atuação.

3.2.2 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada *in loco* na empresa em questão. Como já mencionado no item 1.1, a empresa é do segmento metal mecânico, situada no interior do estado de São Paulo, e atende projetos de pontes e passarelas. O foco da coleta de dados será em uma linha de produção de telas de proteção para passarelas, que possui três células de produção.

Foi de extrema importância a realização desta atividade da forma mais completa possível, pois as informações obtidas nesta etapa serviram de base para toda a análise prática e aplicação da metodologia.

Para realizar a coleta de dados, o autor deste trabalho passou duas semanas, durante o período de férias acadêmicas, acompanhando as operações e os operadores no local. O objetivo foi entender como é feita a distribuição das atividades, qual o fluxo de produção entre as células, a quantidade de operadores nesta linha de produção, mensurar a movimentação de máquinas e pessoas, realizar crono análise para coleta dos tempos de ciclo em cada célula, verificar estoques e coletar qualquer outra informação relevante para o projeto. Importante ressaltar que todo este trabalho de coleta foi autorizado pela empresa e pelos colaboradores, quando necessário.

Além disso, algumas reuniões também foram realizadas com a gestão da empresa, com o objetivo de coletar informações gerenciais. A demanda de trabalho diária ou mensal e o tempo diário disponível de produção foram coletados diretamente com a direção em reunião de alinhamento.

Através do ponto citado anteriormente, pôde-se coletar as seguintes informações:

- Turnos de produção;
- Demanda;
- Tempo de produção disponível;
- Tempo de paradas programadas;
- Tempos de ciclo;
- Estoque;
- Quantidade de operadores na linha de produção;
- Fluxo de materiais;
- Fluxo de informações;
- Frequência de recebimento e expedição;

3.2.3 *Elaboração de MFV*

Conforme Werkema (2021), o fluxo de valor consiste nas atividades que agregam e nas que não agregam valor aos clientes. Ainda para a mesma autora, o mapeamento do fluxo de valor (MFV) é uma ferramenta que utiliza símbolos e gráficos

para documentar e apresentar visualmente a sequência e o movimento de materiais, informações e ações e que constituem o fluxo de valor de uma empresa.

Através dos dados coletados, um MFV será elaborado com a finalidade de mapear o fluxo de materiais e informações do processo produtivo e identificar possíveis desperdícios.

3.2.4 *Análise do leiaute e fluxo de produção*

A gestão da empresa disponibilizou um leiaute da situação atual do ambiente produtivo, projetado na ferramenta computacional AutoCAD®. Este leiaute foi utilizado para analisar a disposição dos elementos no ambiente produtivo e serviu de base para a verificação das distâncias entre máquinas, operadores e materiais. Além disso, uma verificação complementar ocorreu *in loco* para confirmação das informações disponíveis no leiaute.

3.2.5 *Cálculo do Takt Time*

Através da coleta das informações de demanda e do tempo disponível para produção, o cálculo do *Takt Time* foi realizado utilizando a fórmula (1) apresentada no item 2.1.4.

O *Takt Time* nos mostra qual deve ser nossa frequência de produção, ou a cada quanto tempo deve-se produzir um item (DENNIS, 2007).

3.2.6 *Balanceamento atual*

A coleta dos tempos de ciclo e o mapeamento das atividades de cada operador (item 3.2.2) possibilita a elaboração e visualização do balanceamento atual desta linha de produção.

O Balanceamento de linha é a atividade de tentar igualar a carga em cada estação ou parte de um arranjo físico de linha ou processo em massa (SLACK et al., 2009).

A visão do balanceamento tornou possível uma análise a fim de identificar se existe ociosidade ou sobrecarga de trabalho concentrada em alguma atividade ou operador. Se constatado, uma nova proposta de balanceamento se faz necessária, de forma que esteja alinhada com as demais melhorias propostas.

3.2.7 Identificação dos desperdícios

A execução das etapas descritas no item 3.2.2 ao item 3.2.6 foram fundamentais para que a etapa de identificação de desperdícios pudesse ocorrer. É nesta etapa que há a compilação de todas as informações coletadas a fim de identificar oportunidades de melhoria.

Com a análise do leiaute e fluxo do processo produtivo, observa-se se há grande necessidade de movimentação interna, tanto de operadores quanto de materiais, entre postos de trabalho.

Através da coleta dos tempos de ciclo, mapeamento das operações e elaboração do diagrama de balanceamento, pretende-se identificar se as atividades operacionais estão corretamente distribuídas entre as cargas disponíveis de cada operador e conseqüentemente analisar se há desbalanceamento na linha de produção.

3.2.8 Avaliação das ferramentas

A partir da identificação dos desperdícios, com base em toda fundamentação teórica levantada, pretende-se definir quais ferramentas da manufatura enxuta foram aplicáveis com o objetivo de mitigá-los.

Uma reunião gerencial de alinhamento também foi realizada com a finalidade de apresentar as informações coletadas e os próximos passos para a gestão.

3.2.9 Plano de ação - Proposta de melhoria

Pode-se considerar este item como uma das entregas mais importantes deste trabalho. Todo o levantamento feito até aqui é justamente para possibilitar esta entrega.

Através das ferramentas da manufatura enxuta definidas anteriormente, o autor deste trabalho apresenta no próximo capítulo uma proposta de melhoria na linha de produção de telas de proteção para passarelas identificando os possíveis ganhos de cada ação ou da proposta como um todo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

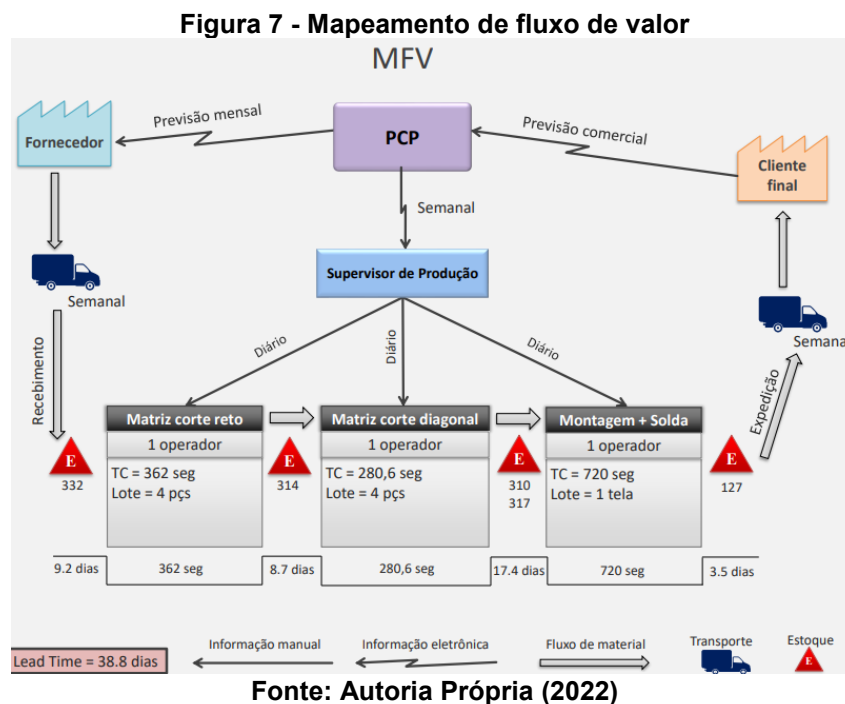
Este capítulo detalha a aplicação prática da metodologia e seus resultados. Além disso, os resultados são compilados e analisados de maneira a possibilitar a elaboração de uma proposta de melhoria para redução dos desperdícios, evidenciando os possíveis ganhos de sua aplicação.

4.1 Análise de dados

A partir da aplicação da metodologia, uma série de ações foram tomadas visando o objetivo geral do trabalho que é a redução de desperdícios e elaboração da proposta. As informações, dados e análises são apresentadas a seguir, e possuem a finalidade de embasar a elaboração do cenário a ser proposto.

4.1.1 Elaboração MFV do cenário atual

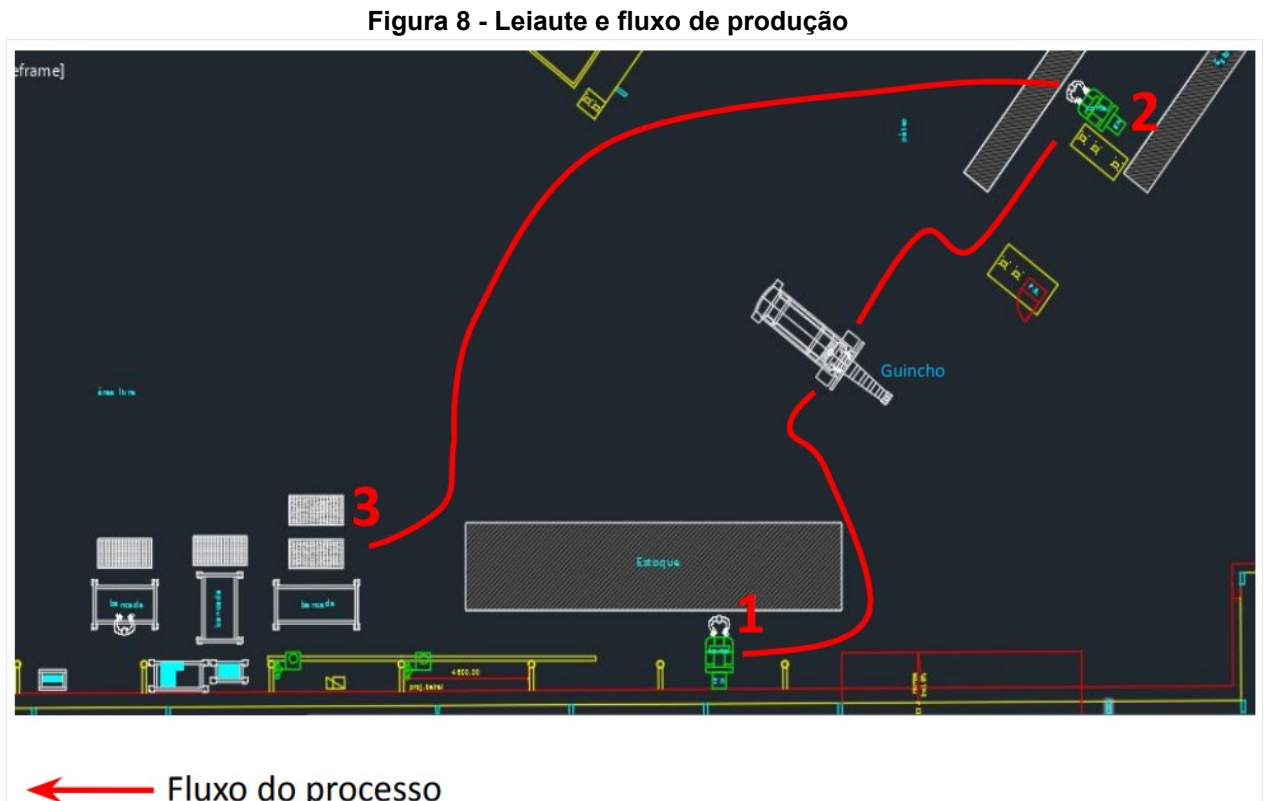
Em paralelo com a coleta de dados na empresa, um MFV foi elaborado e é apresentado na Figura 7. Este MFV foi analisado a fim de entender o processo e identificar possíveis desperdícios na linha de produção considerada.



A Figura demonstra o fluxo de materiais e informações entre fornecedor, empresa estudada e cliente. Também apresenta cada célula de produção com seus respectivos tempos de ciclo, lote de produção e *Lead Time*.

4.1.2. Análise do leiaute e fluxo de produção do cenário atual

A Figura 8 mostra o leiaute fabril juntamente com o fluxo de materiais, representado através de uma aplicação simples do diagrama de espaguete.



Fonte: Autoria própria (2022)

Na figura, é possível identificar os três postos que compõem esta linha de produção, sinalizados pelos números 1, 2 e 3. O Fluxo de produção se inicia no posto 1 através da operação de corte “reto” do perfil utilizado na confecção das telas. Nesta operação, o operador 1 produz estoque de aproximadamente 20 peças e, após isto, prepara as peças para que sejam coletadas pela empilhadeira guincho e transportadas até o posto 2. O mesmo ocorre no posto 2, sendo realizada a operação de corte “diagonal”. O processo finaliza no posto 3 com a montagem e soldagem dos perfis com as telas. Nesta etapa já é possível identificar que existe movimentação e transporte considerável no processo, devido as grandes distâncias entre postos.

A Fotografia 1 representa uma fotografia da verificação *in loco* do ambiente produtivo estudado, onde é possível visualizar a disposição das máquinas, assim como estoques intermediários entre o fluxo do processo.

Fotografia 1 - Ambiente produtivo



Fonte: Aatoria própria (2022)

É possível novamente perceber que as distâncias entre postos são relativamente grandes e, além disso, muitas barreiras (principalmente de estoques) são encontradas impedindo a adoção e otimização de um fluxo contínuo de produção.

A Tabela 1 lista os tempos de movimentação interna coletados através da análise de distâncias do leiaute e do processo de crono análise no chão de fábrica.

Tabela 1 – Movimentações internas entre processos

Tipo Movimentação	Tempo por movimento (20 peças)	Tempo diário por movimento (7x)
Preparar e posicionar peças para coleta da empilhadeira guincho	93 s	651 s
Movimentação entre máquinas 1 e 2	172 s	1204 s
Liberar espaço, aproximar peças da máquina com a ponte rolante. Obs.: Material no caminho impedindo passagem.	79 s	553 s
Preparar e posicionar peças para empilhadeira guincho no posto 2	93 s	651 s
Movimentação entre máquinas 2 e 3	195 s	1365 s
TOTAL	≅ 10,6 minutos	≅ 74 minutos

Fonte: Aatoria própria (2022)

4.1.3 Cálculo do Takt Time

Para a definição do *Takt Time*, primeiramente foi necessário definir o tempo disponível de produção. Utilizando-se das informações de tempo total por turno e

paradas programadas, o tempo disponível real foi calculado. A Tabela 2 apresenta em maior detalhe os tempos coletados e considerados no cálculo.

Tabela 2 - Cálculo do tempo disponível de produção

Turno	1°	2°	3°	
Tempo total (minutos)	540	0	0	
Refeição (minutos)	60	0	0	
Tempo total - Refeição (minutos)	480	0	0	
	Alinhamento	5	0	0
	Liberação máquina	10	0	0
Tempo paradas programadas (minutos)	Ginástica	10	0	0
	TPM	10	0	0
	5S	5	0	0
Σ paradas programadas (minutos)	40	0	0	
Tempo disponível (minutos)	440	0	0	
Horas disponíveis / turno	7.33	0.00	0.00	

Fonte: Autoria própria (2022)

Através da coleta das informações de demanda e do cálculo de tempo disponível para produção, definiu-se o *Takt Time* utilizando a Fórmula (1) onde, conforme Dennis (2007), o *Takt Time* é a razão entre o tempo disponível e a demanda.

Sendo:

$$TD = 7,33 \text{ horas} = 26388 \text{ segundos.}$$

$$D = 36 \text{ telas por dia.}$$

$$Takt\ Time = \frac{26388s}{36} = 733\ s$$

4.1.4 Balanceamento atual

A coleta dos tempos de ciclo e o mapeamento das atividades de cada operador foram realizadas observando a divisão de atividades dos operadores em fábrica durante o processo produtivo, e o tempo de ciclo foi coletado através de crono análise retirando por dez vezes o tempo de cada atividade. Ao final foi realizada a média aritmética para chegar aos tempos apresentados na Tabela 3.

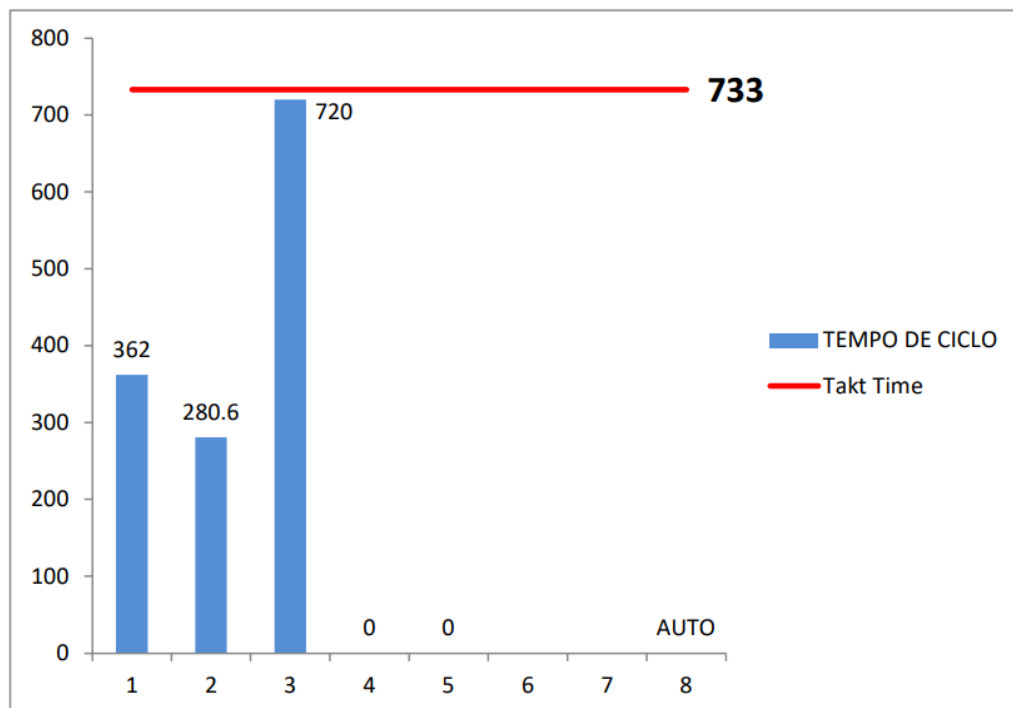
Tabela 3 - Mapeamento de operações e tempo de ciclo

OPERADOR N°	POSTO N°	TEMPO DE CICLO (Segundos)	POSTO DE TRABALHO	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES
1	1	362	Matriz corte reto	Referente a 4 partes (1 tela)
2	2	280,6	Matriz corte diagonal	Referente a 4 partes (1 tela)
3	3	720	Montagem + Solda	Referente a 1 tela (4 partes)

Fonte: Autoria própria (2022)

A partir destas informações, elaborou-se a representação gráfica, em segundos, do balanceamento atual desta linha de produção (**Erro! Fonte de referência não encontrada.7**).

Figura 9 - Representação gráfica do balanceamento atual



Fonte: Autoria própria (2022)

A visão da Figura 9 possibilitou a análise e identificação de que a distribuição de tarefas não está balanceada da melhor maneira, apesar de estarem abaixo do *Takt Time*.

Com isso, uma nova proposta de balanceamento será apresentada de forma que esteja alinhada com a sua definição e com as demais melhorias propostas.

4.1.5 Identificação dos desperdícios

Devido as distâncias entre postos e o tipo de material a ser movimentado (de elevado peso e dimensão), percebe-se que o uso da empilhadeira guincho é necessário entre os postos 1 e 2, e posteriormente 2 e 3. Com isto, temos a identificação dos dois primeiros desperdícios baseados nos sete desperdícios da manufatura enxuta e já apresentados na Figura 3, os desperdícios de movimentação e transporte. Estes desperdícios têm impacto direto no tempo de atravessamento ou “*Lead Time*” do processo estudado.

A Fotografia 2 mostra um exemplo da empilhadeira guincho utilizada para processos de transporte interno de materiais, descarregamento de matéria-prima e carregamento de produto acabado.

Fotografia 2 - Empilhadeira guincho



Fonte: Autoria própria (2022)

Além disto, a disposição atual não apresenta clara segregação entre estoque de matéria-prima, estoques intermediários e células de produção, como é possível visualizar na Fotografia 3.

Fotografia 3 - Materiais no fluxo do processo

Fonte: Autoria própria (2022)

Este fato compromete um fluxo contínuo e sem obstáculos, e pode ter impacto inclusive na segurança da operação e dos operadores. Durante observação *in loco* pelo período de alguns dias de processo, compreendeu-se ainda que parte dos estoques são de projetos anteriores ou de sobra de material do projeto em execução. Portanto, não há previsão para a utilização de parte destes materiais. Assim o terceiro desperdício é observado, o de estoque.

No passo seguinte, através da coleta dos tempos de ciclo, mapeamento das operações e elaboração do diagrama, foi constatado que a linha de produção está desbalanceada, uma vez que o tempo de ciclo no posto 3 é consideravelmente superior ao tempo de ciclo dos postos 1 e 2. Podemos assumir que o posto 3 é o gargalo da operação, mas ainda assim está abaixo do *Takt Time*, não comprometendo o volume de produção diária demandada pelo projeto.

Apesar da entrega não ser comprometida, o processo pode apresentar o desperdício de superprodução caso os postos 1 e 2 executem a operação durante todo o tempo disponível. Isto ocorre, pois, a quantidade de peças enviadas ao posto 3 seria maior do que a capacidade deste posto de dar vazão à produção, ocasionando assim o acúmulo de material em processo (do inglês *Work in Process* ou “*WIP*”) entre os postos 2 e 3. Uma vez que este material é processado pelo posto 2, dificilmente será aproveitado em outro processo caso seja constatada produção excessiva.

4.1.6 Avaliação das ferramentas

Com base em todas as informações coletadas e as análises realizadas, identificou-se as ferramentas que se aplicaram ao estudo e que servem de base para elaboração da proposta.

Para os desperdícios de movimentação, transporte e estoque, o foco foi a combinação das análises do Mapeamento de Fluxo de Valor, tempos de movimentação interna e transporte, leiaute e o fluxo do processo observado no ambiente fabril. Já para o desperdício de superprodução, o foco foi a análise do balanceamento das operações. Para os dois casos, a crono análise foi utilizada para coleta dos tempos do processo.

4.2 Proposta de melhoria

Através da análise dos passos adotados entre os itens 4.1.1 e 4.1.6, a proposta de melhoria é elaborada.

4.2.1 Cálculo da quantidade ideal de operadores

Com base nos tempos de ciclo apresentados na Tabela 3, no *Takt Time* calculado no item 3.2.5 e na Fórmula (2), foi possível realizar o cálculo da quantidade de operadores (*MOD*) necessários para a linha de produção de fabricação de telas, apresentado a seguir.

Sendo:

WC = Conteúdo de trabalho total = 362 + 280,6 + 720 = 1362,6 segundos

TT = *Takt Time* = 733 segundos

$$MOD = \frac{1362,6s}{733s} = 1,9 \text{ operadores}$$

Desta forma, podemos considerar que a quantidade ideal é de dois operadores para esta linha de produção, sendo que um deles (ou ambos) terá uma pequena parcela de seu tempo disponível não utilizada neste processo.

Como já mencionado, a disposição atual na linha conta com três operadores. Portanto, uma nova proposta de balanceamento é apresentada a seguir.

4.2.2 Proposta de balanceamento de operações

A partir do cálculo realizado no item 3.2.5, sabemos que o *Takt Time* é de 733 segundos. Isto significa que, para o atendimento da demanda conforme necessidade do projeto e conforme a puxada do cliente, o tempo de ciclo de cada célula de produção não deve exceder os 733 segundos. Em outras palavras, o gargalo de produção não deve ser superior ao *Takt Time*. Entendido este conceito, analisou-se cada operação e seu respectivo tempo de ciclo.

A linha de produção estudada é composta por três postos de trabalho e três operadores, onde a distribuição é feita com um operador em cada posto.

Com base no mapeamento apresentado na Tabela 3, verifica-se que o tempo de ciclo do posto 3 (Montagem e Solda) é de 720 segundos, já sendo muito próximo ao *Takt Time*. Desta forma, não é adequado agregar mais operações ao posto, uma vez que a diferença entre os tempos é de apenas 13 segundos e o tempo de ciclo pode apresentar pequeno desvio devido as variáveis não controláveis do processo.

Os postos de trabalho 1 e 2 possuem tempo de ciclo consideravelmente abaixo do *Takt Time*. Isto implica que o ritmo de produção nestes postos está muito acima do necessário para atendimento da demanda e os operadores não possuem a carga de trabalho aproveitada da melhor maneira. Se o operador produzir no tempo de ciclo durante todo o período disponível, o acúmulo de peças entre processos (*Work in Process* ou *WIP*) será muito alto. Por outro lado, se o operador decidir diminuir seu ritmo para evitar o acúmulo de *WIP*, um cenário de ociosidade passa a existir.

Portanto, como o tempo de ciclo do posto 1 é de 362 segundos e do posto 2 de 280,6 segundos, é possível combinar as operações de corte reto e corte diagonal em apenas uma célula de produção onde o tempo de ciclo será de 642,6 segundos, que ainda é abaixo do *Takt Time* e atende o ritmo necessário. Nesta disposição, as duas atividades podem ser executadas por somente um operador, possibilitando que o operador 2 seja alocado em outras tarefas.

A Tabela 4 mostra o balanceamento das atividades considerando a nova proposta.

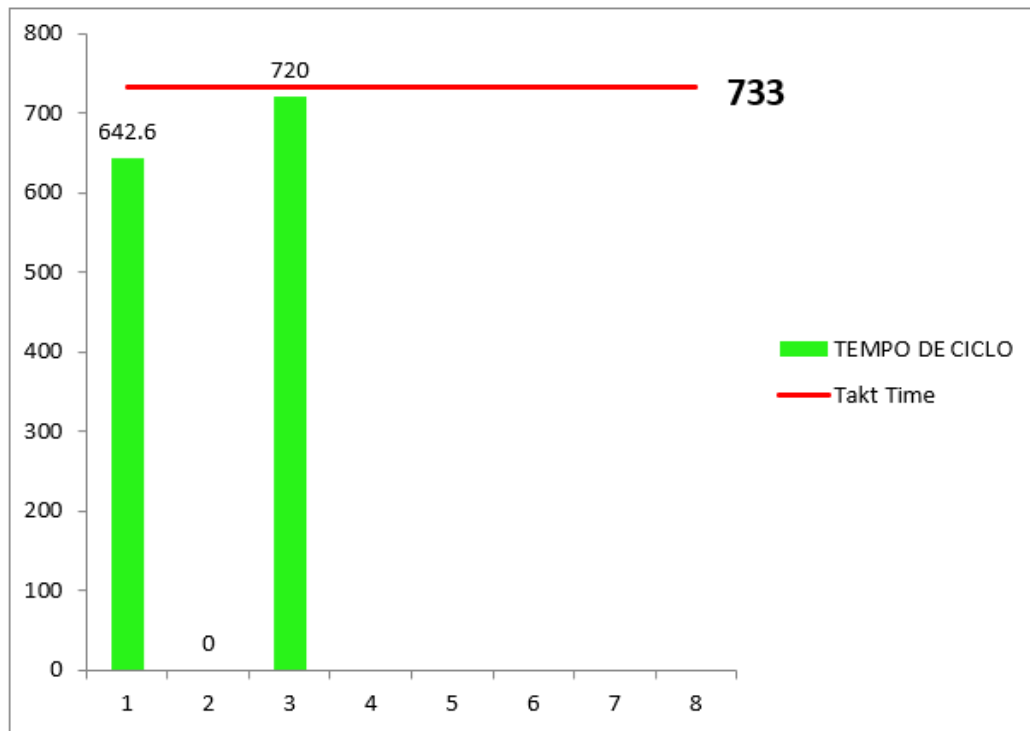
Tabela 4 - Proposta de balanceamento de operações

OPERADOR N°	POSTO N°	TEMPO DE CICLO (Segundos)	POSTO DE TRABALHO	DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES
1	1	362	Matriz corte reto	Referente a 4 partes (1 tela)
1	2	280,6	Matriz corte diagonal	Referente a 4 partes (1 tela)
3	3	720	Montagem + Solda	Referente a 1 tela (4 partes)

Fonte: Autoria própria (2022)

Uma melhor visualização da nova proposta de balanceamento é apresentada na representação gráfica da Figura 10.

Figura 10 - Proposta de balanceamento



Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 1 mostra que o tempo de movimentação entre os postos 1 e 2 é de 172 segundos. Se agregarmos esta tarefa ao operador 1 na disposição de leiaute atual, o seu tempo total para execução dos processos 1 e 2, considerando a movimentação (Corte reto, movimentação entre postos e corte diagonal) será de 814,6 segundos, excedendo o *Takt Time*. Portanto, para que seja viável a aplicação deste balanceamento se faz necessária uma nova proposta de leiaute considerando o reposicionamento das máquinas de modo a encurtar distâncias e reduzir o tempo de movimentação interna.

4.2.3 Proposta de leiaute

Para a nova proposta de leiaute, foi adotado o arranjo físico em linha ou por produto, onde cada produto, elemento de informação ou cliente segue um roteiro em que a sequência de atividades coincide com a sequência na qual os processos foram definidos fisicamente. Este fluxo é previsível e relativamente fácil de controlar (SLACK *et al.*, 2009).

Além de reduzir a movimentação interna, a nova proposta também teve o objetivo de possibilitar um fluxo contínuo e alocar os estoques em áreas adequadas com o foco em diminuir as barreiras ao fluxo e aumentar a segurança e ergonomia dos operadores envolvidos no processo.

O primeiro passo foi definir uma área do estoque de matéria-prima e realizar a aproximação da máquina 2 com a máquina 1. O posicionamento adotado foi de uma máquina de frente para a outra. Isto evita o deslocamento linear do operador uma vez que o material a ser cortado possui grandes dimensões e, caso as máquinas fossem dispostas lateralmente, seria necessário um maior espaçamento entre elas. Nesta disposição, somente o movimento de rotação em 180° seria necessário para seguir à próxima etapa do processo.

Após os postos 1 e 2, uma área de estoque intermediário foi definida onde o operador do posto 3 fará a “compra” do material já processado pelos postos anteriores. Ao finalizar os processos de montagem e de solda da tela no posto 3, o operador posiciona o produto acabado na área destinada ao estoque final ou *Shop stock*.

Por fim, considerando a segurança dos operadores, uma área foi destinada para a criação de um corredor de movimentação de pessoas entre as linhas de produção e entre a fábrica e o escritório administrativo, com sinalização e faixa de pedestres.

O novo leiaute proposto para esta linha de produção é mostrado na Figura 11.

Fotografia 4 - Detalhe do sistema de Monovia



Fonte: Autoria própria (2022)

4.2.4 Movimentação interna

A partir das novas distâncias de deslocamento do leiaute proposto, foi possível estimar os tempos de movimentação. As movimentações para preparar e posicionar as peças para coleta da empilhadeira guincho nos postos 1 e 2 foram eliminadas. Os novos tempos de movimentação são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Movimentações internas entre processos

Tipo Movimentação	Tempo por movimento (1 peça)	Tempo diário por movimento (144x)
Movimentação entre máquinas 1 e 2	5 s	720 s
Posicionar peças no estoque intermediário	10 s	1440 s
Movimentação entre estoque intermediário e posto 3	5 s	720 s
TOTAL	≅ 20 segundos	≅ 48 minutos

Fonte: Autoria própria (2022)

4.3 Ganhos

O Quadro 2 sintetiza os ganhos estimados considerando a implementação das ações de melhoria propostas.

Quadro 2 - Ganhos da proposta de melhoria

Descrição	Antes da proposta	Depois da proposta	Ganhos
Mão de obra utilizada no processo	3 operadores	2 operadores	1 operador
Tempo de movimentação interna (diário)	74 minutos	48 minutos	26 minutos
Tempo de movimentação interna (mensal)	24,7 horas	16 horas	8,7 horas
Eficiência de balanceamento	38%	89%	51%
Estoque	Material de projeto atual sobras de projetos antigos misturados	Definição de estoque de matéria-prima, estoque intermediário e estoque final	Espaço físico Redução obstáculos
Estoque de material em processo	Sem espaço definido	Dimensionado	Redução de <i>WIP</i>
Empilhadeira guincho	Utilizada para movimentação entre postos	Utilizada somente no início e fim do processo	Disponibilidade do equipamento

Fonte: Autoria própria (2022)

Percebe-se que o conjunto de ações propostas, se implementadas, trazem um cenário de redução de custo e redução de desperdícios para a empresa estudada. Como exemplo, podemos citar a possibilidade de redução de um operador no processo, que poderá ser alocado em outras atividades que o demandem.

Além disso, o tempo de movimentação interna reduz consideravelmente e traz no balanço mensal uma redução de mais de oito horas despendidas neste tipo de tarefa. Se comparada ao tempo disponível diário para produção, este ganho representa mais de um dia de produção por mês em disponibilidade de máquinas e operadores.

Por fim, tem-se a readequação dos espaços dedicados ao estoque, possibilitando um fluxo mais contínuo, redução de obstáculos e de *WIP*, mais segurança e melhoria de ergonomia aos operadores.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho buscou propor melhorias em uma linha de produção de telas de proteção utilizada em passarelas, em uma indústria situada no interior do estado de São Paulo e que, devido sua expansão repentina, cresceu seu parque fabril sem que fosse possível a adoção de medidas de planejamento de produção.

Ao verificar o aumento de custos diretos e indiretos de fabricação, a empresa entendeu necessário, em conjunto com o autor deste trabalho, um estudo geral para identificar possíveis melhorias.

Para atingir este objetivo, conceitos da manufatura enxuta e de análise e controle de processos produtivos foram adotados, visando a diminuição de desperdícios dos recursos envolvidos no processo.

Através do embasamento teórico e da aplicação de alguns dos principais conceitos e ferramentas da manufatura enxuta, foi possível a realização de análises em mão de obra, balanceamento, leiaute, movimentação interna e estoques. Isto possibilitou apresentar uma proposta que trouxesse ganhos em diferentes aspectos.

Com o mapeamento das atividades e balanceamento da linha foi possível apresentar uma proposta para reduzir a quantidade de operadores (de 3 para 2) efetuando as mesmas atividades e com a mesma produtividade de 36 telas por dia ainda atendendo o *Takt Time*. Nesta nova condição, a eficiência de balanceamento passou de 38% para 89%, sendo esta calculada a partir do maior e menor tempo das atividades dos operadores.

Através da definição de um novo leiaute, aliado a proposta de balanceamento, estimou-se uma redução de tempo de movimentação diária de 26 minutos e mensal de 8,7 horas. Ainda, a nova proposta de leiaute distribui melhor os estoques, liberando espaço interno, identificando estoques intermediários, retirando obstáculos ao fluxo contínuo e aumentando a segurança e ergonomia aos operadores envolvidos no processo. Além disto, a utilização da empilhadeira guincho passa a ser necessária somente no início e final do processo, e não mais para transporte de peças entre postos, ocasionando assim uma maior disponibilidade do equipamento para outros processos.

Deste modo, este projeto se justifica ao possibilitar que a empresa aumente sua competitividade no mercado com a utilização de ferramentas mundialmente adotadas por organizações de diversos segmentos e que possuem o mesmo objetivo.

Por fim, este trabalho deixa uma contribuição à academia, possibilitando que outros interessados do tema e pessoas que gerenciam empresas, principalmente as de pequeno e médio porte, possam consultá-lo e tomar de base para a aplicação da metodologia estudada em seus projetos.

REFERÊNCIAS

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Indústria brasileira perde competitividade há uma década**. Informativo CNI, v. 1, n. 1, jan., 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Sondagem especial / Falta de trabalhador qualificado**. – Ano 20, n. 76 (janeiro 2020) – Brasília: CNI, 2020.

DENNIS, P. **Produção Lean simplificada**: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. Porto Alegre: Bookman, 2007.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**: com aplicações em Arena. 2. ed. São Paulo: Visual Books, 2008.

MONDEN, Y. **Sistema Toyota de Produção**. São Paulo: IMAN, 1984.

HAMEL, M. **Work Content**, 2013. Disponível em <<https://www.qualitydigest.com/inside/six-sigma-column/work-content-080513.html>>. Acesso em: 3 abr. 2022.

LIKER, J. K. **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

MARTINS, T. **O 4º S dos 5S's – Senso de saúde ou higiene – Seiketsu**, 2019. Disponível em <<https://tuliomartins.com.br/senso-de-saude-ou-higiene-seiketsu/>>. Acesso em: 24 jun. 2022.

MARTINS, T. **O 5º S dos 5S's – Senso de disciplina – Shitsuke**, 2019. Disponível em <<https://tuliomartins.com.br/senso-de-disciplina-shitsuke/>>. Acesso em: 24 jun. 2022.

NATALI, M. **Praticando o 5S na indústria, comércio e vida pessoal**. São Paulo: Editora STS, 1995.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Tradução por Cristina Schumacher. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PARAGON. **O software arena é a ferramenta para simulação de eventos discretos mais utilizado no mundo**, 2021. Disponível em: <<https://www.paragon.com.br/%20softwares/arena/>>. Acesso em: 3 nov. 2021.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da Produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

POPPENDIECK, M. **Principles of Lean Thinking**. [Minnesota]: Poppendieck, LLC, 2002.

RITZMAN, L. P.; KRAJEWSKI, L. J. **Administração da Produção e Operações**. São Paulo: Prentice Hall, 2009.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção do ponto de vista da Engenharia de Produção**. Traduzido por Eduardo Schaan. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 1996.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

SLIDE HUNTER. **Value Stream Mapping PowerPoint template**, 2020. Disponível em <<https://slidehunter.com/powerpoint-templates/value-stream-mapping-powerpoint-template/>> Acesso em: 29 abr. 2022.

SOLIMAN, M. **The Seven Deadly Wastes and How to Remove them from Your Business: The Heart of the Toyota Production System**. 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.4540720>> Acesso em: 25 out. 2021.

SUPPORT MICROSOFT. **Criar um mapa de fluxo de valor**. 2021. Disponível em: <<https://support.microsoft.com/pt-br/office/criar-um-mapa-de-fluxo-de-valor-35a09801-999e-4beb-ad4a-3235b3f0eaa3>> Acesso em: 22 out. 2021.

TUBINO, D. **Manufatura enxuta como estratégia de produção: a chave para a produtividade industrial**. São Paulo: Atlas, 2015.

WERKEMA, C. **Lean seis sigma: introdução às ferramentas do lean manufacturing**. 2. ed. [Reimp.]. Rio de Janeiro: Editora Atlas, 2021.