

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA - CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA

GUSTAVO FERRAZ GONÇALVES

OTIMIZAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA CÉLULA DE
MONTAGEM DE ROTORES

JARAGUÁ DO SUL

Dezembro de 2022

GUSTAVO FERRAZ GONÇALVES

OTIMIZAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA CÉLULA DE
MONTAGEM DE ROTORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do Campus Jaraguá do Sul – Rau, do Instituto Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do diploma de Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Orientador: Cassiano Rodrigues Moura, Me.

JARAGUÁ DO SUL

Dezembro de 2022

Gonçalves, Gustavo

Otimização da movimentação de materiais em uma célula de montagem de rotores / Gustavo Gonçalves ; orientação de Cassiano Moura. Jaraguá do Sul, SC, 2022.

69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -

Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .

Inclui Referências.

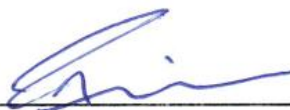
1. Ergonomia. 2. Kaizen. 3. Layout. 4. Lean manufacturing
. I. Moura, Cassiano. II. Instituto Federal de Santa Catarina. . III. Título.

GUSTAVO FERRAZ GONÇALVES

OTIMIZAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS EM UMA CÉLULA DE
MONTAGEM DE ROTORES

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo
indicada.

Jaraguá do Sul, 29 de novembro de 2022



Prof. Cassiano Rodrigues Moura, Mestre.
Orientador
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Carlos Roberto Alexandre, Especialista.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Laline Broetto, Doutora.

IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU

“Viver é como andar de bicicleta. É preciso estar em constante movimento para manter o equilíbrio.”

(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho demonstra o quão é importante adaptar as máquinas ao homem, principalmente quando na indústria o processo de produção é realizado de forma manual, apresentando perdas de tempos e movimentos desnecessários por parte da manufatura. Diante disso, este trabalho tem como objetivo geral otimizar a movimentação de material em uma célula de montagem de rotores em uma empresa metalmeccânica multinacional situada no norte do estado de Santa Catarina. Este trabalho apresenta como metodologia um fluxo experimental qualitativo exploratório, onde o estudo foi a campo, subdividido em 3 macros de atividades, iniciando com a apresentação do centro de trabalho, seguido do levantamento e análise de dados e pôr fim a avaliação destes dados. Com o desenvolvimento do trabalho pode-se observar que o operador realizava movimentos desnecessários durante seu fluxo de trabalho, aumentando o tempo de produção. Assim como uma das soluções indicadas foi a adaptação do local de trabalho por meio do desenvolvimento de uma nova bancada para realizar as operações, focando em questões ergonômicas para melhoria das condições de trabalho. Com isso pode-se padronizar os tempos de produção bem como questões ergonômicas relacionadas aos trabalhos manuais. Dentre os resultados alcançados teve-se a melhoria no centro de trabalho, comparando os tempos de produção a melhoria foi de 46% na redução dos movimentos realizados. Com relação a carga de elevação realizada pelo operador essa melhoria foi de 180% em comparação as condições antes das otimizações realizadas. Pela estimativa calculada por esse trabalho o ganho potencial anual foi de R\$ 4.110,00 reais, estes provenientes da melhora do *layout* estudado, melhora as condições de trabalho, mitigando os movimentos desnecessários além de reduzir o gargalo do final de linha.

Palavras-Chave: Ergonomia. *Kaizen*. *Layout*. *Lean Manufacturing*.

ABSTRACT

This work demonstrates how important it is to adapt machines to man, especially when in the industry the production process is carried out manually, with loss of time and unnecessary movements on the part of manufacturing. Therefore, this work has the general objective of optimizing material movement in a rotor assembly cell in a multinational metalworking company located in the north of the state of Santa Catarina. This work presents as a methodology an exploratory qualitative experimental flow, where the study was carried out in the field, subdivided into 3 macros of activities, starting with the presentation of the work center, followed by data collection and analysis and ending with the evaluation of these data. With the development of the work, it can be observed that the operator performed unnecessary movements during his work flow, increasing the production time. As well as one of the solutions indicated was the adaptation of the workplace through the development of a new workbench, focusing on ergonomic issues to improve working conditions. With this, production times can be standardized as well as ergonomic issues related to manual work. Among the results achieved, there was an improvement in the work center, comparing the production times, the improvement was 46% in the reduction of movements performed. Regarding the lifting load performed by the operator, this improvement was 180% compared to the conditions before the optimizations performed. According to the estimate calculated by this work, the potential annual gain was R\$ 4,110.00 reais, which came from the improvement of the layout studied, improving working conditions, mitigating unnecessary movements in addition to reducing the bottleneck at the end of the line.

Keywords: Ergonomics. Kaizen. Layout. Lean Manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Layout por produto ou layout linear	24
Figura 2 - Layout por processo ou layout funcional	25
Figura 3 - Alturas de mesas recomendadas para trabalhos em pé	30
Figura 4 - Alturas de trabalho para atividades leves, realizadas de pé em relação à estatura	31
Figura 5 - Arco horizontal de preensão e área na altura de uma mesa de trabalho	32
Figura 6 - Sistema OWAS para o registro da postura	34
Figura 7 - Sistema OWAS para classificação das posturas pela combinação das variáveis	35
Figura 8 - Fluxo metodológico	43
Figura 9 - Principais componentes do motor elétrico.....	45
Figura 10 - Layout atual.....	47
Figura 11 - Layout da célula de trabalho e disposição dos equipamentos	48
Figura 12 - Operação de balancear: (a) Selecionando o rotor; (b) Posicionando o rotor no balanceador.....	52
Figura 13 - Método OWAS, análise da classificação da postura antes da melhoria.....	53
Figura 14 - Projeto de melhoria da bancada.....	55
Figura 15 - Bancada adaptada	56
Figura 16 - Classificação da postura depois da implantação da melhoria	57
Figura 17 - Atualização do layout	58
Figura 18 - Comparativo de bancadas – a) Projeto antigo; b) Projeto atual implementado.....	61
Figura 19 - Comparativo do percentual de melhoria.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição dos princípios da metodologia 5s.....	19
Tabela 2 - As três causas de desperdícios	26
Tabela 3 - Localização das dores no corpo, provocadas por posturas inadequadas.....	33
Tabela 4 - Análise de trabalhos relacionados ao Lean	41
Tabela 5 - Capacidade de produção mensal (dados de 2021)	51
Tabela 6 - Realização das atividades antes da melhoria.....	54
Tabela 7 - Custo do investimento	56
Tabela 8 - Tempo das operações depois da melhoria dos movimentos	58
Tabela 9 - Capacidade de produção mensal (dados 2022)	59
Tabela 10 - Comparativo da avaliação ergonômica antes e depois da implantação das melhorias.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BL - Balanceador

CA - Corrente alternada

CC - Corrente contínua

cm - Centímetro

CNC – Controle numérico computadorizado

JIT - Just in time (Na hora certa)

kg - Quilograma

mm - Milímetros

NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto nacional de segurança e saúde ocupacional)

OWAS - Ovako Working Posture Analysing System (Sistema de análise de postura de trabalho Ovako)

PCP - Planejamento e controle da produção

SAE - Society of Automotive Engineers (Sociedade de engenheiros automotivos)

TPS - Toyota Production System (Sistema Toyota de produção)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivo específico	16
2 DESENVOLVIMENTO	17
2.1 Produção enxuta	17
2.2 Sistema <i>toyota</i> de produção	18
2.3 Ferramentas da manufatura enxuta	20
2.3.1 <i>Kaizen</i>	20
2.3.2 <i>Just In Time</i>	21
2.3.3 5S	22
2.3.4 Tempo <i>Takt</i>	23
2.3.5 Jidoka	25
2.3.6 Poka Yoke	26
2.4 Arranjo físico e <i>Layout</i>	27
2.5 Desperdícios – <i>muda, mura, muri</i>	29
2.6 Ergonomia na produção	31
2.7 Aplicações da manufatura enxuta	40
3 METODOLOGIA	46
3.1 CLASSIFICAÇÃO DE PESQUISA	46
3.2 FLUXO METODOLÓGICO	47
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	49
4.1 Apresentação do centro de trabalho	49
4.1.1 <i>Layout</i> da linha de montagem	50
4.1.2 Sistema produtivo	51
4.1.3 Processamento de materiais	52
4.2 Levantamento e análise de dados	55
4.2.1 Capacidade produtiva	55
4.2.2 Avaliação ergonômica	56
4.3 Avaliação dos dados	59
4.3.1 Avaliação dos tempos	59
4.3.2 Proposta de melhoria	59
4.4 Comparação dos resultados	65
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

As atualizações das indústrias junto com o avanço da tecnologia propõem um mercado cada vez mais competitivo, buscando sempre produtos com ótimas qualidades sem qualquer defeito e buscando sempre atender os prazos de entrega, juntamente com mão de obra qualificada para atender a demanda do mercado de trabalho.

Segundo Tubino (2015), as corporações tendem sempre a definir um plano estratégico para obter o máximo de seus resultados, minimizando riscos nas tomadas de decisões, a variação dessa estratégia adotada afeta a natureza de suas características para cumprir o foco da sua missão, planejando reconhecer os limites, suas forças e habilidades no relacionamento com o meio que se preze para criar vantagens competitivas em relação à concorrência, absorvendo todas circunstâncias que lhe provém ganhos.

A indústria em geral empenha-se para desenvolver e construir um determinado produto ou prestar um determinado serviço ao mercado, com esforço contínuo, o produto produzido é o resultado de todas as operações da empresa, ou seja, é a consequência do conjunto integrado e sistêmico de atividades realizadas recorrentes e cotidianas (CHIAVENATO, 2014).

Para Morgan e Liker (2008) quando se estabelece um valor definido pelo cliente, deve se valorizar as atividades de valor agregado, e mitigar as atividades geradoras de desperdícios, no começo do processo que a empresa deve encontrar as maiores oportunidades de visualizar um impacto positivo sobre o produto final, da mesma forma a produção enxuta, segue o princípio de eliminar atividades que não agregam valor ao produto final.

Assim, ao observar uma linha de montagem de rotores em uma empresa multinacional do estado de Santa Catarina, com movimentos manuais do operador percebeu-se que o início do processo se realiza pela prensagem do eixo no rotor, para seguir ao torneamento que deixara nas dimensões das tolerâncias projetada para a carcaça do motor elétrico e finalizando o processo da linha esse rotor segue no centro de trabalho de balanceamento HOFFMAN HL-20 de rotores, onde se realiza a operação final do processo para garantir a qualidade do produto mitigando as vibrações após a montagem do motor elétrico, o balanceador HOFFMAN HL-20,

observou-se um tempo gargalo no final de linha, deste ponto se originou o problema onde o material fica longe do operador do balanceador, onde que operador necessita se locomover para alcançar o rotor usinado, fazendo movimentos desnecessários e desgastantes ergonomicamente, prejudicando o fluxo da linha de produção como um gargalo final.

Diante disto, formulou-se o seguinte problema para pesquisa: A otimização de movimentação de material em uma linha de montagem de rotores no posto de trabalho de balanceamento, diminuirá os custos de fabricação e aumentará a produção? Portanto este trabalho busca por meio das ferramentas do *Lean Manufacturing*, encontrar soluções mitigadoras para o problema apresentado, identificando movimentos desnecessários pelo meio da análise da posição do *layout*, da estruturação de equipamentos, reduzindo as perdas, podendo buscar melhorias contínuas para obter melhores desempenho das atividades realizadas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Otimizar a movimentação de material em uma célula de montagem de rotores.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar questões relacionadas a ergonomia dos operadores como postura e elevação de cargas;
- Realizar a cronometragem do tempo das operações realizadas;
- Analisar o *layout* atual e propor modificações melhorando as condições de trabalho.

2 DESENVOLVIMENTO

O trabalho a seguir será desenvolvido com base nas pesquisas bibliográficas para orientar o caminho a ser traçado e determinar as possíveis ferramentas passíveis de serem aplicadas no decorrer das atividades.

2.1 Produção enxuta

De acordo com Morgan e Liker (2008) a produção enxuta não é mais uma vantagem competitiva exclusiva da *Toyota*. Na indústria automotiva, a produção enxuta se tornou uma ferramenta importante de trabalho que fez as montadoras de automóveis desenvolverem sua estratégia própria de produção, muitas alcançaram sucesso, de maneira similar, em outras empresas de outros setores industriais também se moldaram a esse sistema. Segundo Tubino (2015) para a implantação das práticas da manufatura enxuta a empresa deve realizar um planejamento estratégico e assim conhecer os limites de suas forças e habilidades no relacionamento com o meio ambiente, criando vantagens competitivas em relação à concorrência, aproveitando oportunidades das situações que lhe proporcionam ganhos.

Muitas empresas desenvolvidas, entre elas a *Toyota*, buscam oportunidades para criar um empreendimento verdadeiramente enxuto, não apenas no processo de produção, mas também em projetos, compras, engenharia, finanças e recursos humanos (MORGAN; LIKER, 2008).

Produção enxuta é conhecida como sendo uma filosofia que mostra como se deve conduzir a produção. Diante disto Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) a definem como um conjunto coerente dos processos, para fazer bem as coisas simples, sempre melhorando e atendendo às necessidades dos clientes, além de eliminar desperdícios em cada etapa. Segundo os autores, três-questões chave definem a filosofia enxuta, o envolvimento dos funcionários na operação, o impulso para melhoria contínua e a eliminação do desperdício.

Segundo Tubino (2015) quando definimos a manufatura enxuta como uma estratégia de produção focada na diferenciação, é o conjunto de práticas, oriundas do Sistema *Toyota* de Produção, com o objetivo de melhorar continuamente o sistema produtivo por meio da eliminação das atividades que não agregam valor ao cliente, chamadas de desperdícios. Na produção enxuta se produz o necessário que o cliente

solicitou, a fim de evitar desperdício, ou seja, não usar tempo e dinheiro desnecessários nessas atividades, uma vez que o cliente não irá pagar mais por operações que não agregam valor ao processo de fabricação do seu produto (MORGAN; LIKER, 2008).

O foco da produção enxuta é alcançar um fluxo de materiais, buscando seguir o desejo dos clientes, qualidade perfeita, em quantidades exatas, nem muito, nem pouco, exatamente quando for necessário, não antes nem depois, exatamente onde for necessário, no local certo, e com o menor custo possível. Esse é um conceito muito semelhante ao *just-in-time* (JIT), da *Toyota Production System* (TPS), produção sem estoque e sincronização enxuta (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Como resultado, muitas empresas que buscam clientes precisam trabalhar para satisfazer as suas exigências acelerando o desenvolvimento de novos produtos e inserindo no mercado apenas os que os consumidores desejam, quando eles precisam. Empresas que não se atualizam para o mercado acabam ficando para trás, mesmo sabendo produzir os produtos de ontem como nenhuma outra (MORGAN; LIKER, 2008).

2.2 Sistema *toyota* de produção

Para Monden (2015) o Sistema *Toyota* de Produção foi aderido por diversas companhias japonesas, após a crise do petróleo de 1973, este tem como propósito cortar, por meio de tarefas de aperfeiçoamento, inúmeros desperdícios que não são encontrados em uma companhia. Segundo Ohno (1997) a melhoria na eficiência surge quando se produz zero desperdício, no Sistema *Toyota* de Produção deve apenas produzir o necessário, reduzindo a força de trabalho diminuindo o excesso da capacidade na quantidade necessária. O Sistema *Toyota* de Produção é uma ferramenta eficiente para a fabricação de produtos, com a visão final para se obter lucro, com objetivo principal de eliminar excesso de estoques e pessoas na linha de produção, reduzindo os custos da manufatura (MONDEN, 2015).

Segundo Morgan e Liker (2008) muitos autores recorrem à *Toyota* em busca de orientação em desenvolvimento de produtos em função da excelência alcançada pela empresa japonesa no setor da produção. O sucesso da *Toyota* gerada pela devida qualidade de seus produtos, consolida sua faixa global de mercado e alcança lucros em praticamente todos os exercícios financeiros.

Morgan e Liker (2008) discutem que o sucesso da *Toyota* decorre do trabalho pesado, de excelentes engenheiros, de uma cultura de trabalho em equipe, de um processo otimizado, de ferramentas simples e poderosas que funcionam. Para Ohno (1997) o Sistema *Toyota* de Produção procura eliminar todos os desperdícios possíveis, com a ajuda de duas ferramentas muito utilizadas que são o *Just-in-time* (JIT) e a autonomia, ou automação com um toque humano.

De acordo com Shingo (2007) o processo é observado como a fluidez de materiais que ocorre no tempo e no espaço, transformando a matéria-prima em componente semiacabado ao produto acabado. As operações são o trabalho que transforma a interação do fluxo de equipamento e operadores no tempo e no espaço. O processo analisado verifica a fluidez do material ou produto, as operações analisadas verificam o trabalho realizado sobre os produtos pelo trabalhador e pela máquina.

A autonomia, em japonês *Niben-no-arui Jidoka*, se denomina o controle autônomo de defeitos, apoiando o JIT, ela bloqueia operações defeituosas evitando que comprometa o processo seguinte (MONDEN, 2015). Na *Toyota*, máquinas foram equipadas com dispositivos de paradas automáticas melhorando a locomoção do operador entre os equipamentos de manufatura, podendo realizar mais *setup's*, as máquinas foram adaptadas com dispositivos para informar anormalidades (SHINGO, 2007).

O grande desempenho da *Toyota* é um resultado direto da excelência operacional. A *Toyota* transformou a excelência operacional em uma arma estratégica com isso, baseada nos métodos de melhoria da qualidade e ferramentas que a empresa tornou famosas no mundo da indústria, tais como *just-in-time*, *kaizen*, fluxo unitário de peças, autonomia *jidoka* e nivelamento da produção *heijunka*. Essas técnicas revolucionaram a produção enxuta. Mas ferramentas e técnicas não são armas secretas para transformar uma empresa. O sucesso da *Toyota* na implementação dessas ferramentas origina-se de uma filosofia empresarial mais profunda baseada na compreensão das pessoas e da motivação humana. Seu sucesso, essencialmente, baseia-se em sua habilidade de cultivar liderança, equipes e cultura para criar estratégias, construir relacionamentos com fornecedores e manter uma organização de aprendizagem (LIKER, 2005).

2.3 Ferramentas da manufatura enxuta

Embora se tenha conhecimento de diversas ferramentas da manufatura enxuta, que auxiliam no entendimento e no desenvolvimento industrial, contribuindo para melhorar a forma de como fazer os produtos e melhorando a forma de operação dos trabalhadores, neste trabalho será relevante a descrição de algumas destas como: *Kaizen*, *Just in Time*, 5S, *Tempo Takt*, *Jidoka* e *Poka Yoke*.

2.3.1 *Kaizen*

Segundo Chiavenato (2014) o *Kaizen* implantado por Masaaki Imai é uma ferramenta de melhoria contínua, essa se trata de uma filosofia de trabalho que tem o objetivo na excelência eliminando perdas e erros, para que o *kaizen* funcione corretamente é necessário vontade de fazer essa mudança e deve manter essa mudança. O *kaizen* é uma mudança organizacional, onde é necessário que todos os pilares sejam presentes no envolvimento, como do chão de fábrica a níveis de gestores.

Para Laugeni e Martins (2015) os conceitos iniciais do *kaizen* se expandiram para uma filosofia organizacional e comportamental. De acordo com o autor esta é uma cultura voltada à melhoria contínua com foco na eliminação de perdas em todos os sistemas de uma organização, e implementa a aplicação de dois elementos, o aperfeiçoamento entendido como uma mudança para melhor, e a continuidade, como ações permanentes de mudança. Para Imai (2011) *kaizen* significa melhoramento, contínuo melhoramento na vida pessoal, na vida domiciliar, na vida social e no trabalho, o ponto de partida para o melhoramento é a descoberta da necessidade, isto provém da descoberta de um problema, se nenhum problema for descoberto, não haverá necessidade de melhoramento.

A melhoria contínua, ou *kaizen* em japonês, é o princípio de que todo dia deve se pensar em melhorar e desenvolver seus processos de sua empresa. Se ficarmos satisfeitos em como projetamos, produzimos e vendemos nossos produtos, e paramos de evoluir, logo alguém estará nos copiando ou nos superando (TUBINO, 2015).

A eliminação de desperdício em uma indústria, a torna mais produtiva, atendendo às necessidades dos clientes, além de reduzir custos, estimulando os funcionários para mudarem o modo de pensar, o *kaizen* busca ensinar e orientar as

peças para sempre fazerem seu melhor em todos os aspectos do seu trabalho (ORTIZ, 2010).

2.3.2 *Just In Time*

Esse sistema, designado JIT (*Just In Time*), foi desenvolvido na *Toyota Motor Company*, no Japão, por Taiichi Ohno, com objetivo de combate de desperdício. Na realização das atividades que consomem recursos e não agregam valor ao produto, estas são consideradas desperdícios. Como, estoques que custam dinheiro e ocupam espaço, transporte interno, paradas intermediárias decorrentes das esperas do processo, refugos e retrabalhos são formas de perdas e por consequência devem ser eliminadas ou reduzidas ao máximo (LAUGENI; MARTINS, 2015).

Conforme Tubino (2015), os desperdícios de superprodução ocorrem quando produzimos mais do que o necessário, como a superprodução quantitativa ou quando produzimos muito antes que o necessário como a superprodução temporal para atender a demanda do momento. Como consequência, o desperdício de superprodução leva a um consumo desnecessário de material e capital antes do tempo e ocupação desnecessária dos recursos produtivos como máquinas, mão de obra e espaços físicos. E estando trabalhando em algo que não é necessário no momento, fica difícil responder às demandas novas de programações de curto prazo, com estoques formados anteriormente, que induzem a novas superproduções.

Para Laugeni e Martins (2015) o conceito de JIT, é uma filosofia gerencial, que procura não somente eliminar os desperdícios, mas também colocar cada componente certo no lugar e na hora certa. É produzido em tempo de atender às necessidades de produção, ao contrário da abordagem tradicional de produzir só quando necessário. O JIT leva a estoques menores, custos baixos e melhor qualidade do que os sistemas convencionais.

A filosofia JIT procura utilizar a capacidade plena dos colaboradores, pois é encarregada a autoridade de produzir itens de qualidade para atender em tempo o próximo passo do processo produtivo. Neste sistema, onde a qualidade é essencial, o colaborador tem autoridade de parar um processo produtivo caso identifique algo que não esteja no previsto, e estar preparado para corrigir a falha, ou pedir ajuda aos colegas de trabalho. Essa atitude seria impensável nos sistemas tradicionais de produção em massa, nos quais a linha jamais poderia ser parada (CORRÊA e

GIANESI, 2009).

O sistema JIT tem como objetivo fundamental a melhoria contínua do processo produtivo. Isso através de um mecanismo de redução dos estoques, os quais tendem a camuflar problemas. Os estoques são utilizados para evitar descontinuidades do processo produtivo, diante de problemas de produção que são classificados em três grandes grupos:

- Problema de qualidade;
- Problema de quebra de máquina;
- Problema de preparação de máquina.

O JIT faz o sistema produtivo alcançar melhores índices de qualidade, maior confiabilidade de seus equipamentos, fornecedores e maior flexibilidade de resposta, principalmente através da redução dos tempos de preparação de máquinas, permitindo a produção de lotes menores e mais adequados à demanda do mercado (CORRÊA; GIANESI, 2009).

2.3.3 5S

Para Werkema (2021) o 5S tem objetivo de promover e manter a limpeza e a organização das áreas de trabalho, tanto nas áreas administrativas quanto de manufatura. O 5S é um sistema simples que consiste nas seguintes atividades: separar; classificar; limpar; padronizar; e manter, como na *Toyota* uma boa condição de 5S é um local de trabalho limpo, bem organizado, que fala com você, essa é a base da melhoria (DENNIS, 2008).

Os 5S é um método de arrumação da casa para organizar áreas de trabalho que enfatizem ordem visual, organização, limpeza e padronização, eliminando desperdícios relacionados à incerteza, espera, busca de informações relevantes e criação de variação, eliminando o que for desnecessário e ao deixar tudo limpo e previsível, a desordem é reduzida, os itens necessários estão sempre nos mesmos lugares e o trabalho fica mais fácil e mais rápido (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

Segundo Laugeni e Martins (2015) um programa de melhoria da qualidade e produtividade deve se iniciar com a mudança de hábitos dos colaboradores quanto à limpeza, organização, asseio e ordem do local de trabalho. Aplicando a metodologia

do 5S pode se entender melhor os seus objetivos, esses são apresentados na Tabela 1, onde são descritos os princípios básicos de cada senso “s”.

Tabela 1 - Descrição dos princípios da metodologia 5s

5 S's	Princípios Básicos
1ºS - Seiri (liberação de áreas)	Deve separar os itens necessários e descartar os desnecessários. Ao armazenar itens desnecessários se acaba gerando estoque desnecessário ocupando espaço e dinheiro, máquinas obsoletas que atrapalham o espaço produtivo e manuseio de materiais.
2ºS - Seiton (organização)	Acondicionar e separar os materiais de forma organizada e adequada, facilitando a sua localização, tudo deve ter seu lugar, o que é usado mais frequente deve estar mais próximo, com o ambiente organizado sobra mais espaço, pois apenas sobraram só os necessários, deve se etiquetar armários e gavetas especificando o que está armazenado.
3ºS - Seiso (limpeza)	Manter os itens e o local de trabalho em que são armazenados e usados sempre limpos, limpar é checar, verificar as máquinas e ferramentas de forma regular, deve se manter limpo não somente o chão ao redor da máquina, como também está, interna e externamente, bancadas e parede, caso esteja próximo a uma, e não pendurar nada, como objetos pessoais e pôsteres, nas paredes.
4ºS - Seiketsu (padronização, asseio e arrumação)	Os equipamentos e as áreas de trabalho devem estar sempre limpos e bem cuidados, de modo a garantir segurança no trabalho. Itens quebrados, supérfluos, usados e desnecessários devem ser removidos, a segurança é um requisito primordial, pois barulho, fumaça, cabos e fios espalhados pelo chão aumentam as condições inseguras de trabalho. Todas as coisas devem ter um lugar próprio, e devem ser minimizadas as perdas, como vazamento de óleo, desperdício de eletricidade, entre outros.
5ºS - Shitsuke (disciplina)	Manter, de forma disciplinada, tudo o que leva à melhoria do local de trabalho, da qualidade e da segurança do colaborador. Significa usar, de forma disciplinada, os equipamentos de proteção contra acidentes no trabalho, andar uniformizado, portando o respectivo crachá e, evidentemente, manter limpo, organizado e asseado seu local de trabalho.

Fonte: Adaptado de Laugeni e Martins (2015).

2.3.4 Tempo *Takt*

Segundo Antunes *et al.* (2008) em alemão, o termo *takt* serve para designar a batuta do maestro, ou seja, é o marcador do compasso da orquestra. Matematicamente, define-se o *takt-time* como a razão entre o tempo disponível para a produção e o número de unidades a serem produzidas. O *takt-time* pode ser

entendido como o tempo que os materiais fluem em uma linha ou célula, basicamente, é a batuta do maestro a sinfonia da produção. É fundamental entender que o conceito de *takt-time* está diretamente relacionado à função do processo, já que trata do fluxo dos materiais ao longo do tempo e espaço. Para o autor a definição do *takt-time* é feita, separadamente, para cada célula de produção, este é um elemento de rotina de operação padrão das células.

Para Shingo (2007) *takt time* é um número, referência, este expressa o ritmo de produção segundo o qual cada processo deve trabalhar para atender as demandas solicitadas, buscando sincronizar a produção com as vendas. De acordo com Antunes *et al* (2008) em termos práticos, o conceito de *takt time* é entendido como o tempo que cada máquina de uma célula ou linha de produção devem levar para atender a demanda do cliente, alinhado diretamente ao ritmo que a produção deve operar para, apenas, atender a demanda. No *just in time* significa remover, sempre que possível, o estoque usado para melhorar operações em relação a problemas que podem surgir na produção, no fluxo unitário de peças sempre que possível produzir uma unidade por vez, por determinada razão da demanda do cliente ou *takt*.

O *takt* é muito utilizado para estabelecer o ritmo de produção e para mostrar aos funcionários toda vez que estiverem adiantados ou atrasados, com um fluxo contínuo e o *takt time* são melhor aplicado em operações de fabricação repetitiva e de serviços, conhecendo bem os conceitos, podem ser estendidos para qualquer processo passível de repetição em que os passos possam ser detalhados e as perdas possam ser identificadas e eliminadas para criar um fluxo melhor (LIKER, 2005).

Na explicação de Rother (2010), *takt time* é a taxa de demanda de consumo para o grupo ou família de produtos criados em um processo, a utilização do *takt time* é mais aplicada nos processos do tipo montagem que atendem os consumidores externos, para entender o *takt time* se calcula através da divisão do tempo de operação efetivo de um processo, como, por turno ou dia, e pela quantidade de itens que os consumidores exigem do processo nesse intervalo de tempo, no tempo de operação efetivo é o tempo disponível menos as paralisações planejadas, podendo ser como refeições, intervalos, reuniões, limpeza e manutenção programada, as paralisações não planejadas e os tempos de troca de ferramenta não são subtraídos nesse ponto, já que são condições que você deseja reduzir.

No contexto do *lean manufacturing*, com a criação de procedimentos padronizados para o trabalho dos operadores de um processo produtivo é baseado

no tempo *takt*, com a sequência de tarefas executadas por um operador no tempo *takt* e no estoque padrão exigido para a operação do processo (WERKEMA, 2021).

2.3.5 Jidoka

Em 1902 *Sakichi Toyoda*, criou o conceito de *jidoka*, ele inventou uma máquina de tear que pararia automaticamente se qualquer fio se rompesse. Isto abriu as portas para o tear automatizado no qual um único operador podia lidar com dezenas de máquinas de tear. A invenção de *Sakichi* reduziu o número de defeitos e o tempo de espera e aumentou a produtividade. *Sakichi* também introduziu a ideia de que não haveria problema em parar a produção para extrair a causa de defeitos (DENNIS 2008).

Para Liker (2005), *Jidoka* é conhecido como automação, ou seja, o equipamento automatizado pode desligar-se quando apresenta problema. A qualidade no posto de trabalho, impede que os problemas passem adiante, este é eficaz e sobrecarrega menos do que a inspeção e consertos posteriores dos problemas de qualidade.

O *jidoka* cria um ambiente visual que possibilita realizar o trabalho corretamente na primeira vez, e todas às vezes, com a filosofia *jidoka*, qualquer pessoa que realiza algum trabalho é capaz de identificar que algo é questionável, pedir uma segunda opinião, e se o problema for confirmado, parar, para resolver e voltar às condições padrão de trabalho antes de continuar o processo, em vez de contornar o problema, todo processo jamais está em perfeita condição de *jidoka* (BALLÉ *et al.*, 2019).

Ao abrir espaço para os funcionários refletirem e então sugerir como melhorar a capacidade sem investimentos aleatórios, criando condições de *jidoka*, monta um local de trabalho onde as pessoas confiam que podem se concentrar no seu fluxo de trabalho, a confiança no local de trabalho é o suporte do engajamento e das sugestões, e o *jidoka* proporciona um mapa claro de como melhorar as condições físicas garantindo uma maior firmeza pessoal (BALLÉ *et al.*, 2019).

2.3.6 Poka Yoke

O conceito de “à prova de falha” surgiu na introdução dos métodos japoneses de melhoramento da produção. Conforme Slack; Brandon-Jones; Johnston (2018) *poka-yoke* é um termo denominado no Japão (de *yokeru*, evitar, e *poka*, erros

involuntários), a ideia é baseada no princípio de que os erros humanos, são inevitáveis. Os *poka-yokes* são dispositivos ou sistemas simples, baratos, sendo incorporados em um processo para evitar erros inadvertidos por aqueles que oferecem um serviço.

Conforme Laugeni e Martins (2015), o termo *Poka Yoke* significa à prova de erros, um processo ou produto deve ser projetado de forma a eliminar qualquer possibilidade prevista de defeito, como em um conjunto que tenha duas possibilidades de montagem, uma correta e outra incorreta, deve ser projetado equipamentos automáticos de testes que são programados a interromper a produção sempre que ocorrer um defeito, evitando que a peça defeituosa prossiga para a operação seguinte, e assim buscando zero defeito na produção.

Para Werkema (2021), um dispositivo *Poka Yoke* é considerado qualquer mecanismo que evite que o erro seja cometido ou que faça com que seja óbvio à primeira vista, para que seja facilmente detectado e corrigido. Alguns exemplos de erros que podem ser evitados por meio desta ferramenta, entre esses estão a montagem incorreta de um componente, o esquecimento da fixação de uma peça em uma montagem, o não preenchimento de um campo em uma ficha de cadastro e a digitação de caracteres alfabéticos ao invés de caracteres numéricos em um campo de um formulário.

Segundo Shingo (2007), antes de projetar e instalar algum dispositivo *Poka Yoke*, deve-se determinar se inspeção ocorrerá na fonte ou na inspeção sucessiva. Tendo em vista tem dois métodos nos quais isto pode ser usado para corrigir erros:

- **Método de Controle:** quando o *Poka Yoke* é ativado, a máquina ou a linha de processamento para, de forma que o problema seja corrigido. O *Poka Yoke* e de controle é o dispositivo corretivo mais poderoso, porque paralisa o processo até que a condição causadora de defeito tenha sido corrigida;
- **Método de Advertência:** quando o *Poka Yoke* é ativado, um alarme soa, ou uma luz sinaliza, alertando o trabalhador. Tomando uma decisão, o *Poka Yoke* é utilizável como uma medida prática para atingir a inspeção 100%.

Se as medidas de inspeção física forem possíveis, são incorporadas em um dispositivo *Poka Yoke*, ou, em algumas formas de inspeção na fonte ou auto inspeção. A inspeção sucessiva é reservada para casos onde apenas a inspeção sensorial seja possível, pelo fato de detectar defeitos somente após o primeiro ter ocorrido. Além

disso, ela só deve ser adotada quando nem a auto inspeção e muito menos a inspeção na fonte forem viáveis por motivos técnicos ou econômicos (SHINGO, 2007).

2.4 Arranjo físico e *Layout*

Arranjo físico ou *Layout* ou Leiaute é o estudo da localização dos recursos produtivos, podendo ser máquinas, instalações hidráulicas, elétricas, vias de locomoção, pessoas em uma instalação industrial ou de prestação de serviços. (LAUGENI; MARTINS, 2015). Assim como Chiavenato (2014), o arranjo físico pode se referir também à localização física de diversos órgãos ligados direta ou indiretamente à produção. Como as máquinas e equipamentos devem estar adequadamente dispostos e colocados fisicamente para facilitar o processo produtivo.

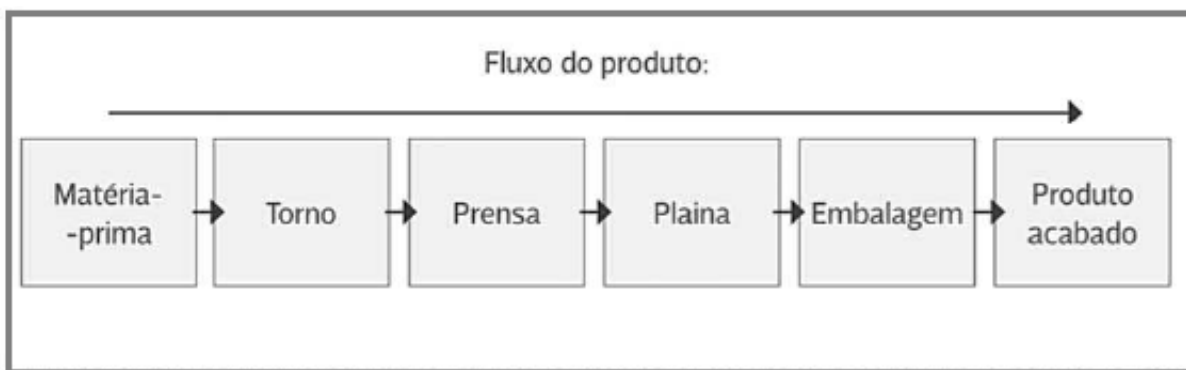
A decisão de arranjo físico é importante, se o *layout* estiver errado, pode provocar padrões de fluxo muito longos ou confusos, filas de clientes, longos tempos de processo, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis, altos custos e uma resposta fraca para os que estiverem dentro da operação, sejam eles clientes ou funcionários. Além disso, o rearranjo físico radical pode interromper o funcionamento da produção, ocasionando insatisfação do cliente ou perdas de tempo na produção (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018).

O arranjo físico é retratado pelo *layout*, é o gráfico que representa o espaço disponível, a área ocupada e a localização das máquinas e equipamentos ou as ações envolvidas. Este mostra o arranjo físico de máquinas, homens e materiais, procurando a melhor combinação entre as operações das máquinas, produtividade do trabalho e fluxo dos materiais. Chiavenato (2014) apresenta duas formas de *layout*:

- ***layout por produto***: é conhecido como *layout* linear, na produção, apresenta cada tipo de operação desde a entrada da matéria-prima em sua ponta até a saída do produto acabado na outra ponta, indicando as etapas de produção que constitui a menor distância entre dois extremos. O *layout* do produto indica toda a sequência de operações executadas em um produto desde a entrada da matéria-prima até o seu acabamento final, tornando produto acabado, este fluxo pode ser observado na Figura 1;
- ***layout por processo***: também denominado *layout* funcional, representa as diversas seções ou máquinas e equipamentos, e o fluxo que o processo segue desde a matéria-prima até o produto acabado, pode se entender que,

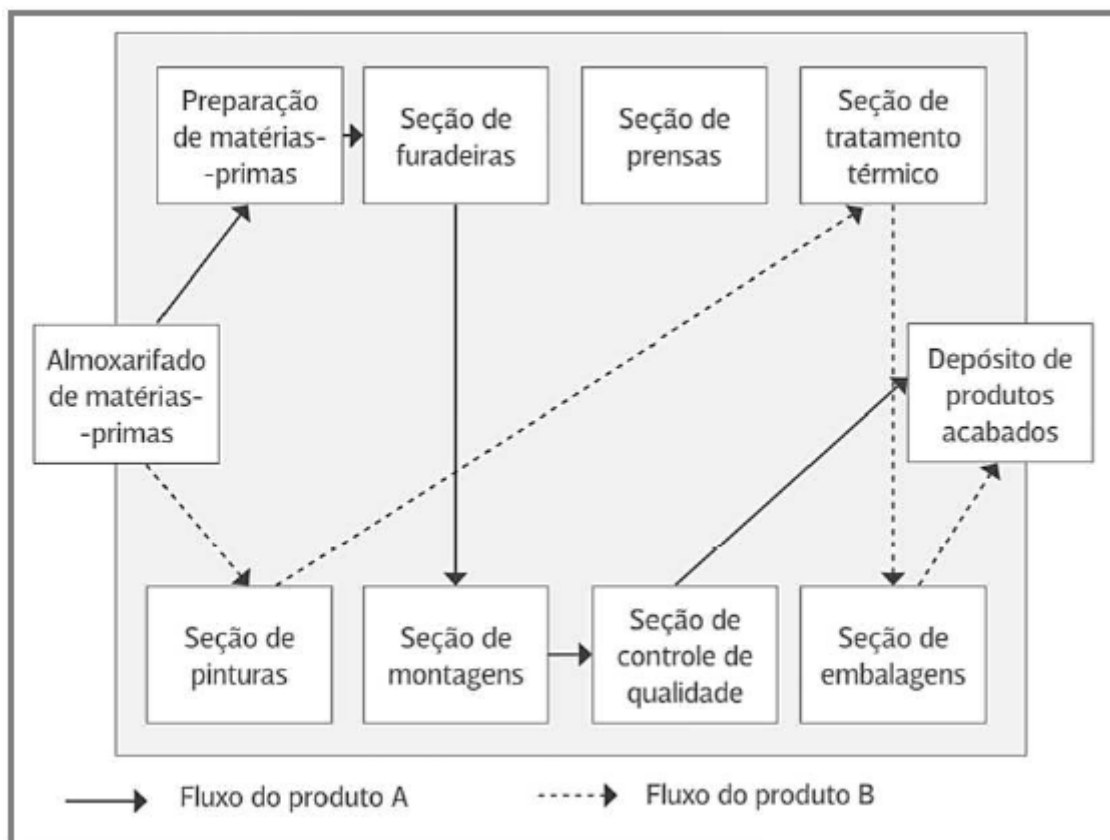
as seções ou máquinas e equipamentos, são os elementos básicos de *layout*, enquanto cada produto segue sua trajetória, sendo diferente para os outros produtos, o *layout* por processo é utilizado quando se pretendem analisar os processos de produção de um ou vários produtos. Nesse tipo de *layout*, as seções produtivas são o ponto de referência, isto é, as bases de análise dos vários produtos, segue uma sequência lógica conforme mostra a Figura 2.

Figura 1 - *Layout* por produto ou *layout* linear



Fonte: Chiavenato (2014, p. 114).

Figura 2 - *Layout* por processo ou *layout* funcional



Fonte: Chiavenato (2014, p. 115).

Para Corrêa e Gianesi (2009), o arranjo físico utilizado nas empresas que adotam o sistema JIT é o arranjo físico celular. O *layout* celular é o esforço de linearização do *layout* funcional ou por processo. O *layout* linear, no qual os equipamentos estão dispostos segundo o roteiro de produção dos produtos, é o arranjo mais eficiente, este beneficia o fluxo, reduz a movimentação de materiais, filas e os tempos gastos com preparação, já que os equipamentos são dedicados a um ou poucos produtos similares. O espaço é ocupado eficientemente e o estoque em processo é reduzido.

2.5 Desperdícios – *muda*, *mura*, *muri*

Para Dennis (2008) o trabalho padronizado é um processo cujo objetivo é *kaizen*, se o trabalho padronizado não for melhorado estamos regredindo, as oportunidades de *kaizen* são óbvias, incluindo *muda* evidente, como defeitos recorrentes, avarias de máquinas ou produto em processo em excesso. Sobrecarga (*muri*) ou falta de regularidade (*mura*) são outros alvos óbvios.

A eliminação do desperdício muitas vezes se definem como a meta da produção enxuta, o conflito à muda não representa tudo aquilo que o conceito enxuto envolve, a verdadeira filosofia enxuta não foca na eliminação unidimensional da *muda*, ele trabalha a fim de eliminar três tipos de desperdícios inter-relacionados como *muda*, *mura* e *muri*, conhecidos coletivamente como os “três M’s” (MORGAN; LIKER, 2008).

Segundo Liker (2005), o foco em *muda* é a abordagem mais comum para a implantação das ferramentas enxutas, isso facilita a identificar e eliminar perdas, mas o que muitas empresas não conseguem alcançar é o processo mais difícil de estabilizar o sistema e criar uniformidade, um verdadeiro fluxo de trabalho enxuto equilibrado, atingindo o nivelamento da produção é fundamental para a eliminação de *mura*, que, por sua vez, é fundamental para a eliminação de *muri* e de *muda*.

Para Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) essas três causas de desperdício estão obviamente relacionadas. Quando um processo é inconsistente (*mura*), pode levar à superutilização de equipamentos e pessoas (*muri*), causando todos os tipos de atividades que não agregam valor (*muda*). A Tabela 2 apresenta uma descrição destes desperdícios.

Tabela 2 - As três causas de desperdícios

Desperdícios	Causas de desperdícios
<i>Muda</i>	São atividades em um processo que são desperdiçadas porque não agregam valor à operação ou ao cliente. As principais causas dessas atividades desperdiçadoras são, os objetivos mal comunicados como o não entendimento das exigências do cliente ou o uso ineficiente dos recursos. A implicação disso é que, para qualquer atividade ser efetiva, deve ser adequadamente registrada e comunicada a quem quer que a esteja desempenhando.
<i>Mura</i>	É a falta de consistência ou irregularidades que resultam em sobrecarga periódica de pessoal ou equipamentos, se as atividades não forem adequadamente documentadas para que diferentes pessoas em ocasiões diferentes desempenhem a mesma tarefa de modo diferente, não surpreende que o resultado da atividade possa ser diferente. Os efeitos negativos disso são semelhantes à falta de confiabilidade.

Muri

Seja o absurdo ou a irracionalidade. É a ideia de que as exigências desnecessárias ou irracionais colocadas em um processo resultarão em maus resultados. A implicação disso é que habilidades apropriadas, planejamento efetivo, estimativa precisa de tempo e programação para evitar esse desperdício de sobrecarga muri, resultando em um desperdício causado pela falta de condução de tarefas de planejamento das operações básicas, como priorizar atividades, sequenciamento, entender o tempo necessário, programação e recursos, carregamento, para desempenhar atividades.

Fonte: Adaptado de Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018).

2.6 Ergonomia na produção

Conforme Lida (2005) a ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem, o trabalho tem significado amplo, abrangendo não apenas operações executadas com máquinas e equipamentos, utilizados para transformar os materiais, mas também toda a situação em que ocorre o relacionamento entre o homem e uma atividade produtiva. O conceito de atividade de trabalho significa o que as pessoas efetivamente fazem para realizar a produção. Esse conceito inclui a expectativa do que deve ser realizado a tarefa, associando-a com as noções complementares de execução, como é realizada a tarefa, e dos requisitos para boas condições de execução (MÁSCULO; VIDAL, 2011).

Existem dois métodos para analisar o posto de trabalho, o *taylorista* e o ergonômico. O enfoque *taylorista* é baseado nos princípios de economia de movimentos, já o enfoque ergonômico é baseado principalmente na análise biomecânica da postura e nas interações entre o homem, sistema e ambiente, para saber qual método se adequa melhor ao posto de trabalho. Lida (2005) apresenta esses métodos da seguinte forma:

- **Método taylorista:** estuda os movimentos corporais necessários para executar um trabalho e a medida do tempo gasto em cada um desses movimentos. Sendo chamado de estudo de tempos e movimentos. A sequência de movimentos necessários para executar uma tarefa é baseada em uma série de princípios de economia de movimentos, e o melhor método é escolhido pelo critério do menor tempo gasto.
- **Método ergonômico:** desenvolve postos de trabalho que reduzem as exigências biomecânicas e cognitivas, procurando colocar o operador em uma boa postura de trabalho, as ferramentas a serem utilizadas, ficam próximos da

área de alcance dos movimentos corporais do operador, as máquinas, equipamentos, ferramentas e materiais são adaptados às características do trabalho e capacidades do trabalhador, visando promover o equilíbrio biomecânico, reduzir as contrações estáticas da musculatura e o estresse geral, assim, pode-se garantir a satisfação e segurança do trabalhador e a produtividade do sistema.

Segundo Dennis (2008), o desperdício de movimento relaciona em função humano quanto também por meios de equipamentos mecânicos, o movimento humano desperdiçado está relacionado à ergonomia do local de trabalho, maus projetos ergonômicos afetam de forma negativa a produtividade e qualidade, além de afetar a segurança, a perda de produtividade quando é preciso caminhar, alcançar ou torção desnecessários, pois precisa se esticar pelas condições ambientais prejudiciais, de fato os riscos ergonômicos de maior importância são a postura, a força e a repetição, todas ligadas à forma em que o local de trabalho é projetado.

A ergonomia ajuda na redução de *muda* do movimento humano, os desperdícios de movimentos mecânicos, acontecem quando a peça e/ou a máquina estão longes um do outro. Para melhorar esta situação de forma simples se poderia posicioná-las em locais próximos, da mesma forma, máquinas que estão muito distantes umas das outras resultam em *muda* de movimento desnecessária (DENNIS, 2008).

De acordo com Kroemer e Grandjean (2007) a definição da altura de trabalho é de grande importância para o projeto dos locais de trabalho, sendo a área de trabalho muito alta, frequentemente os ombros são erguidos para compensar, o que leva a contrações musculares dolorosas na altura da nuca e das costas, se a área de trabalho é muito baixa, as costas são sobrecarregadas pelo excesso de curvatura do tronco, o que se relaciona a queixa de dores nas costas, portanto, a altura das mesas de trabalho deve estar de acordo com as medidas antropométricas do operador, tanto para o trabalho de pé quanto para o trabalho sentado.

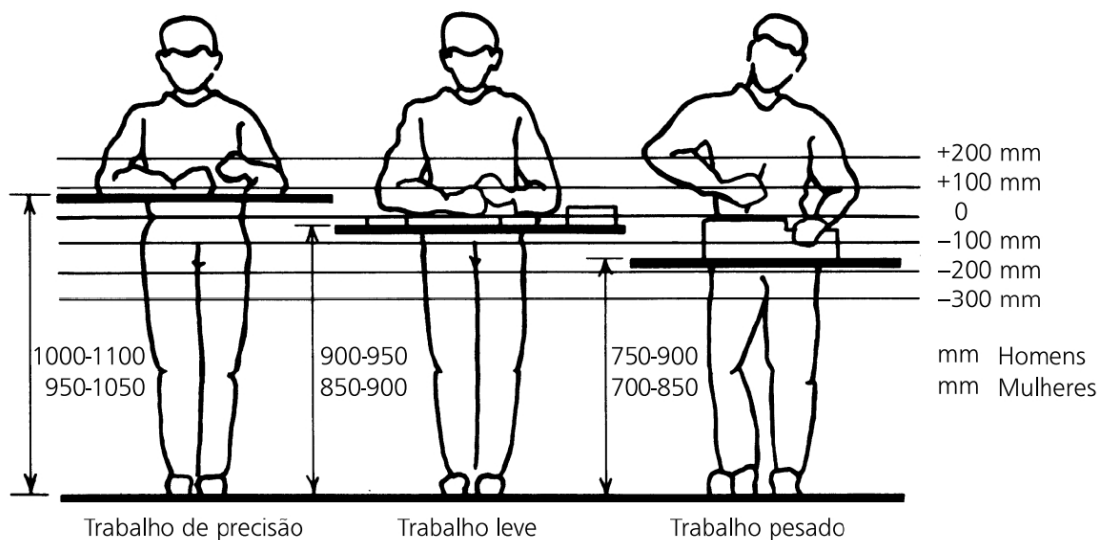
Para os trabalhos manuais realizados de pé, as alturas recomendadas são de 50 a 100 mm abaixo da altura dos cotovelos, a altura média dos cotovelos (distância do chão até o lado inferior do cotovelo dobrado em ângulo reto, com o braço na posição vertical) está em torno de 1.070 mm para os homens e 1.000 mm para mulheres da Europa e Estados Unidos (KROEMER; GRANDJEAN, 2007).

Desta forma, em média, alturas de trabalho de 970 a 1020 mm é conveniente para os homens ocidentais e 900 a 950 mm para as mulheres, na posição em pé, é claro que para populações com dimensões distintas ou hábitos de trabalho diferentes, outras alturas de trabalho podem ser melhores, além das considerações antropométricas, deve-se considerar a natureza do trabalho. Segundo Kroemer e Grandjean (2007) explicar formas para melhorar as posturas nas funções de trabalho:

- **Trabalho delicado:** é desejável um apoio dos cotovelos, já que desta forma a musculatura do tronco ficará aliviada da carga estática, com a altura adequada está entre 50 e 100 mm abaixo da altura do cotovelo;
- **Atividades manuais:** geralmente é necessário um espaço para ferramentas, materiais e recipientes variados, e a altura adequada de trabalho está em torno de 100 a 150 mm abaixo da altura do cotovelo;
- **Trabalho em pé:** se há muita exigência de emprego de força, o que requer a ajuda da parte superior do tronco exemplo, (trabalho com madeira ou trabalhos pesados de montagem), então a altura da superfície de trabalho deve ser mais baixa, com altura adequada entre 150 e 400 mm abaixo da altura do cotovelo.

As alturas recomendadas para trabalho em pé estão mostradas na Figura 3, as dimensões recomendadas só têm valor de orientação geral, já que se baseiam nos valores médios de medidas antropométricas ocidentais e não levam em consideração as variações individuais. Para pessoas baixas, a altura das mesas é muito alta e, nesses casos, é recomendável o uso de estrados de madeira ou outras instalações semelhantes como um suporte de compensação, por outro lado as pessoas altas, terão de se curvar sobre a mesa, o que pode gerar problemas para a musculatura das costas (KROEMER; GRANDJEAN, 2007).

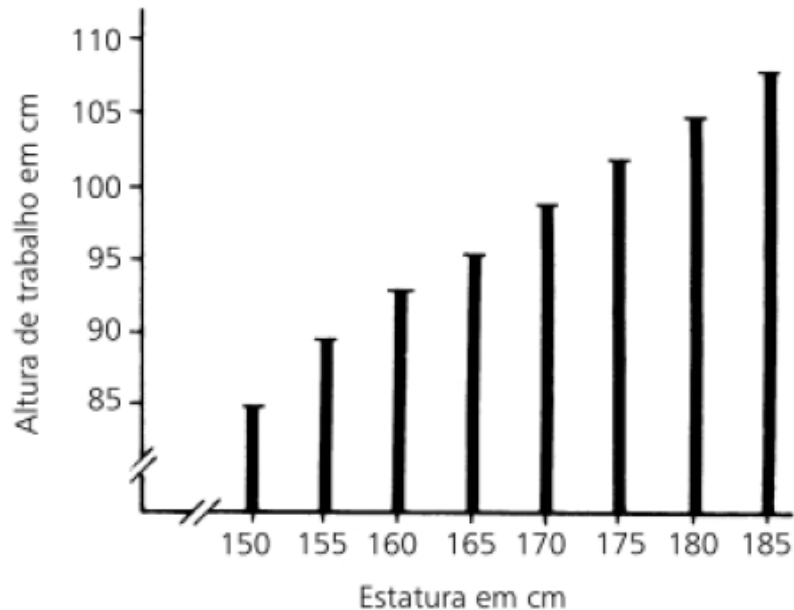
Figura 3 - Alturas de mesas recomendadas para trabalhos em pé



Fonte: Kroemer e Grandjean (2007, p. 48).

Do ponto de vista ergonômico, é sempre desejável a adaptação individual da altura de trabalho, ao invés de soluções improvisadas, como estrados para os pés ou o aumento das pernas das mesas, uma mesa com altura regulável é mais recomendável. Na Figura 4 são mostradas as alturas de trabalho desejáveis para atividades leves de pé, em relação à altura das pessoas, se por algum motivo a altura das mesas não puder ser ajustada, ou se o nível de operação das máquinas não puder ser regulável, então, em princípio, a altura de trabalho deve tomar como base as pessoas altas, porque pode-se usar plataformas mais altas como superfície de apoio de compensação para as pessoas baixas ficarem de pé (KROEMER; GRANDJEAN, 2007).

Figura 4 - Alturas de trabalho para atividades leves, realizadas de pé em relação à estatura



Fonte: Kroemer e Grandjean (2007, p. 49).

Para Kroemer e Grandjean (2007) o conhecimento do espaço que as mãos e braços necessitam para apreensão e movimento é importante para o projeto de controles, ferramentas, acessórios de diferentes tipos e postos de trabalho, para definir onde colocar tais elementos, como no caso de uma linha de montagem ou de inspeção, acessos muito distantes exigem movimento excessivo do tronco, tornando a operação menos precisa e com mais demanda energética, aumentando o risco de dores nas costas e nos ombros.

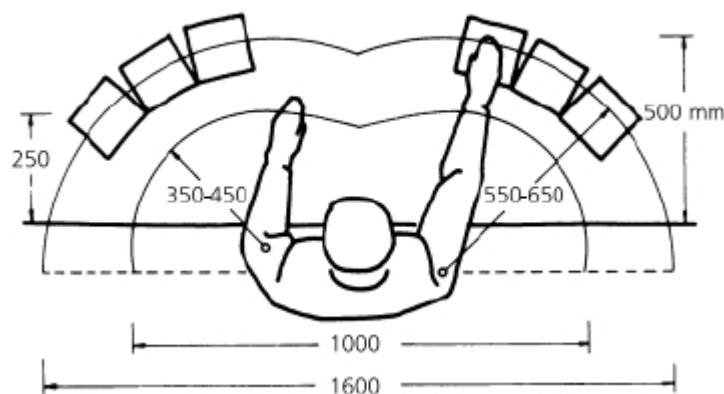
O alcance é determinado pelo raio de ação dos braços, estando a mão em posição de apreensão, decisiva é a altura do eixo de articulação dos ombros e a distância entre a articulação dos ombros, mão fechada, este é um caso em que se deve considerar as pessoas com braços mais curtos, conforme Kroemer e Grandjean (2007) as medidas do percentil da população, são:

- **Altura dos ombros, posição de pé:** Homem pequeno 1.342 mm, Mulher pequena 1.241 mm.
- **Altura dos ombros, a partir do assento:** Homem pequeno 549 mm, Mulher pequena 509 mm.

- **Comprimento do braço (posição de preensão):** Homem pequeno 739 mm, Mulher pequena 677 mm.

Com estes dados, o alcance de ação das mãos compreende um arco de raio de cerca de 730 mm para os homens e 670 mm para as mulheres, em torno dos ombros, com alcances convenientes não são os mais distantes, mas, sim, os mais próximos do corpo, para cada braço, o espaço de ação é uma concha semicircular, as conchas se juntam em frente do corpo, na Figura 5 estão mostrados os espaços de preensão e de trabalho sobre a superfície da mesa, com materiais, ferramentas, controles e contenedores devem estar distribuídos neste espaço, lembrando que movimentos ocasionais até uma distância de 700 a 800 mm não geram prejuízos (KROEMER; GRANDJEAN, 2007).

Figura 5 - Arco horizontal de preensão e área na altura de uma mesa de trabalho



Fonte: Kroemer e Grandjean (2007, p. 58).

Segundo Lida (2005) a biomecânica ocupacional geral, é responsável por tratar dos movimentos corporais e forças relacionados ao trabalho, assim, preocupa-se com as interações físicas do trabalhador, com o seu posto de trabalho, máquinas, ferramentas e materiais, visando reduzir os riscos de distúrbios músculo esqueléticos, também analisa basicamente a questão das posturas corporais no trabalho, a aplicação de forças, bem como as suas consequências.

Devido a produtos e postos de trabalhos inadequados que provocam estresses musculares, dores e fadiga, podendo ser resolvidas com providências simples, como

o aumento ou redução da altura da mesa ou da cadeira, melhoria do *layout* ou concessão de pausas no trabalho (IIDA, 2005).

Tudo se deve por conta a postura corporal para lida (2005) postura é o estudo do posicionamento relativo de partes do corpo, como cabeça, tronco e membros, em um espaço, a boa postura é importante para a realização do trabalho sem desconforto e estresse, como podemos ver na Tabela 3 a má postura pode causar certos danos aos membros do trabalhador.

















Tabela 3 - Localização das dores no corpo, provocadas por posturas inadequadas

Postura inadequada	Risco de dores
Em pé	Pés e pernas (varizes)
Sentado sem encosto	Músculos extensores do dorso
Assento muito alto	Parte inferior das pernas, joelhos e pés
Assento muito baixo	Dorso e pescoço
Braços esticados	Ombros e braços
Pegas inadequadas em ferramentas	Antebraço
Punhos em posições não-neutras	Punhos
Rotações do corpo	Coluna vertebral
Ângulo inadequado assento/encosto	Músculos dorsais
Superfícies de trabalho muito baixas ou muito altas	Coluna vertebral, cintura escapular

Fonte: Adaptado de lida (2005, p. 166).

Para lida (2005) pode se utilizar uma ferramenta cujo o sistema chamado de OWAS (*Ovako Working Posture Analysing System*) para o registro da postura podemos observar na Figura 6, esse sistema prático, foi desenvolvido por três pesquisadores finlandeses (*Karku, Kansu e Kuorinka*), que trabalhavam em uma empresa siderúrgica, eles começaram com análises fotográficas das principais posturas encontradas tipicamente na indústria pesada.

Figura 6 - Sistema OWAS para o registro da postura

DORSO	 1 Reto	 2 Inclinado	 3 Reto e torcido	 4 Inclinado e torcido
	BRAÇOS	 1 Dois braços para baixo	 2 Um braço para cima	 3 Dois braços para cima
PERNAS		 1 Duas pernas retas	 2 Uma perna reta	 3 Duas pernas flexionadas
	CARGA	 4 Uma perna flexionada	 5 Uma perna ajoelhada	 6 Deslocamento com pernas
		 1 Carga ou força até 10 kg	 2 Carga ou força entre 10 kg e 20 kg	 3 Carga ou força acima de 20 kg

Fonte: Iida (2005, pg. 170).

Cada postura é descrita por um código de seis dígitos, representando posições do dorso, braços, pernas, e carga, os dois últimos dígitos indicam o local onde a postura foi observada, conforme a Figura 7, assim se realiza duas avaliações, usando uma escala de quatro pontos, com os seguintes extremos: postura normal sem desconforto e sem efeito danoso à saúde e postura extremamente ruim, provoca desconforto em pouco tempo e pode causar doenças (IIDA, 2005).

Segundo Iida (2005) com base nessas avaliações, as posturas foram classificadas em seguintes categorias:

- Classe 1: postura normal, que dispensa cuidados, a não ser em casos excepcionais;
- Classe 2: postura que deve ser verificada durante a próxima revisão rotineira dos métodos de trabalho;
- Classe 3: postura que deve merecer atenção a curto prazo;
- Classe 4: postura que deve merecer atenção imediata.

Figura 7 - Sistema OWAS para classificação das posturas pela combinação das variáveis

Dorso	Braços	1			2			3			4			5			6			7			Pernas Cargas
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	3	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2
2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3
	2	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	4	2	3	4
	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	4	4	4	1	1	1	1	1	1	
	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	1	1	1	
	3	2	2	3	1	1	1	2	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	
4	1	2	3	3	2	2	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	2	3	3	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4
	3	4	4	4	2	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	3	4

Fonte: Iida (2005, pg. 172).

A equação de NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health – EUA*), conforme mostra a Equação 1, foi desenvolvida para calcular o peso limite recomendável em tarefas repetitivas de levantamento de cargas, essa equação foi desenvolvida em 1981 e revisada em 1991, tendo o objetivo de prevenir e reduzir a ocorrência de dores geradas pelo levantamento de cargas, ela refere-se apenas à

tarefa de pegar uma carga e deslocá-la para depositá-la em um outro nível, usando as duas mãos (IIDA, 2005).

Para lida (2005) equação estabelece um valor de referência de 23 kg que corresponde à capacidade de levantamento no plano sagital, de uma altura de 75 cm do solo, para um deslocamento vertical de 25 cm, segurando-se a carga a 25 cm do corpo, sendo assim seria a carga aceitável para 99% dos homens e 75% das mulheres, sem provocar nenhum dano físico, em trabalhos repetitivos, esse valor de referência é multiplicado por 6 fatores de redução (valores iguais ou inferiores a 1,0), que dependem das condições de trabalho e são definidas pelas seguintes variáveis:

- PLR = peso limite recomendável;
- H = distância horizontal entre o indivíduo e a carga (posição das mãos) em cm;
- V = distância vertical na origem da carga (posição das mãos) em cm;
- D = deslocamento vertical, entre a origem e o destino, em cm;
- A = ângulo de assimetria, medido a partir do plano sagital, em graus;
- F = frequência média de levantamentos em levantamentos/min;
- C = qualidade da pega.

Observando esses fatores a equação de *NIOSH* é expressa pela equação:

$$PRL = 23 \times \left(\frac{25}{H}\right) \times (1 - 0,003 \times [v - 75]) \times \left(0,82 + \frac{4,5}{D}\right) \times (1 - 0,0032 \times A) \times F \times C \quad (1)$$

De acordo com a NR-17, em seu item 17.1.1, as condições de trabalho relacionada a ergonomia incluem aspectos como ao levantamento, transporte e descarga de materiais, ao mobiliário, aos equipamentos e às condições ambientais do posto de trabalho e a própria organização do trabalho. Atualmente, a preocupação com a ergonomia se tornou uma questão importante para qualquer gestão empresarial de qualidade. Tendo efeito, a realização do trabalho de maneira saudável, sob o ponto de vista dos aspectos apropriados a sua jornada, posturas de trabalho, exigências físicas, é fundamental para um bom resultado como efeito direto da atividade laboral realizada. Uma boa gestão de ergonomia tem como efeito básico a redução de custos com acidentes e doenças do trabalho e o aumento da lucratividade com a maior produção do trabalhador, favorecido pelo ambiente ergonomicamente correto (PEREIRA, 2015).

Para Camisassa (2022) a NR-17 tem o objetivo de determinar diretrizes e requisitos que aprovem a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, proporcionando um máximo de conforto, segurança, saúde e desempenho eficiente no trabalho.

2.7 Aplicações da manufatura enxuta

Este tópico visa apresentar algumas situações encontradas na literatura, onde percebe-se a utilização dos conceitos apresentados até o presente momento. Sejam em estudo de caso, pesquisa aplicada ou descrições de métodos e ferramentas.

Detregiachi Filho *et al.* (2017), desenvolveram seu trabalho em uma empresa de embalagens plásticas na região de Marília-SP, onde necessitou-se implantar o Sistema *Toyota* de produção. O objetivo do trabalho consiste em analisar as possibilidades, os recursos necessários, as dificuldades e benefícios da utilização de técnicas e ferramentas do Sistema *Toyota* de Produção. Foi alcançado por meio do estudo de caso com coleta de dados a partir de entrevistas com os colaboradores da empresa em estudo. Os objetivos específicos permitiram revelar as principais dificuldades encontradas na implantação do sistema proposto, bem como delinear a percepção dos gestores e dos colaboradores sobre a nova metodologia de trabalho, os motivos que levaram a empresa em estudo a adotar as ferramentas do Sistema *Toyota* de Produção foram, a necessidade de redução de estoques, desperdícios e custos, as principais ferramentas utilizadas foram o 5S, o *Kaikaku*, a troca rápida de ferramenta, relatório A3, o planejamento *HoshinKanri*, mapeamento do fluxo de valor, padronização de trabalho e gestão diária, sendo que as que trouxeram maior resultados foram o planejamento *HoshinKanri*, gestão diária e relatório A3. Houve investimento para a implantação do sistema basicamente em máquinas e equipamentos, consultoria e treinamentos e, principalmente, em mão de obra, a principal dificuldade de implantação foi a mudança de cultura dos funcionários, que dificultou bastante este processo. Os resultados alcançados foram satisfatórios para a empresa, possibilitaram melhorias e indicadores mais precisos, como a redução do *lead time*, estoque e *setup*.

O trabalho desenvolvido por Silva e Chirolí (2019) se baseia na aplicação de ferramentas de manufatura, como o *Lean manufacturing*. A empresa estudada, se encontra localizada na região norte do estado do Paraná, Brasil, está atua no mercado

de peças de reposição nas linhas de plantadeira e pulverização. As ferramentas utilizadas foram a Filosofia dos 5 Sentos, Adequação de *layout* e Troca Rápida de Ferramentas, com a implantação parcial destas ferramentas a empresa obteve aproximadamente 15% de aumento em sua produtividade. A filosofia dos Cinco Sentos proporcionou redução significativa dos tempos de *setup*. Após a adequação do *layout* do setor pôde-se avaliar com o auxílio do Diagrama *Spaghetti* a diminuição significativa da movimentação realizada pelo soldador no interior de seu setor, ele não teve que se ausentar do local em nenhum momento, durante a avaliação, pois todos os componentes necessários estavam dentro do setor e ao seu alcance. Neste trabalho a mudança de comportamento afetou significativamente no seu desenvolvimento, especialmente na aprovação e implantação das melhorias, os principais limitantes encontrados foram referentes à recursos como tempo, materiais e investimentos, e a resistência dos colaboradores à mudança, a partir das mudanças realizadas e dos resultados obtidos, a alta direção da empresa foi capaz de traçar planos de melhorias, focadas nas ferramentas propostas pelo trabalho e alinhadas ao planejamento estratégico.

No estudo realizado por Sotsek e Bonduelle (2016), foram desenvolvidas propostas de melhorias através da cronoanálise e modificações de arranjo físico (*layout*) do setor de montagem de uma empresa de embalagens de madeira localizada na região metropolitana de Curitiba, estado do Paraná, visando melhorar a eficiência produtiva da linha de produção. A partir da ferramenta *brainstorming* e das reuniões realizadas, foram detectados os principais problemas no setor, bem como o problema do setor de montagem que se apresentava na disposição dos postos de trabalho, dos equipamentos e matéria-prima utilizada, entre outros. A montagem das embalagens era realizada no chão de fábrica, através de um movimento fatigante de levantar e abaixar, esse tipo de manuseio gera uma movimentação contínua das partes do corpo humano e, por consequência, a fadiga dos músculos e o cansaço excessivo do funcionário, esse tipo de situação além de reduzir a eficiência do trabalhador pode gerar acidentes de trabalho. Dentre as melhorias, foram apresentadas as implantações de *layouts* específicos que contribuíram para reduzir os desperdícios dentro do setor estudado, com adaptações de cada posto de trabalho de acordo com as peças produzidas.

Melhorando as condições de trabalho para o funcionário, as aplicações de Canton *et al.* (2016), falam sobre a concepção de espaços de trabalho a partir da

perspectiva da ergonomia situada, o objetivo da pesquisa foi o refletir sobre o papel da ergonomia no projeto de situações produtivas a fim de antecipar e mitigar o aparecimento de novos fatores ergonômicos. Para o desenvolvimento deste trabalho foi utilizado um estudo de caso em uma indústria de embalagens, a finalidade desta pesquisa era evidenciar como o uso da ergonomia em projetos de concepção poderia contribuir para a redução do aparecimento de fatores ergonômicos após a implantação de um novo *layout*. Este estudo teve como foco o resultado da implantação de um projeto de concepção de espaço de trabalho, mais precisamente, um projeto que visava a melhoria das condições de trabalho de uma linha de produção, nesse contexto, buscou-se compreender as razões que levaram um projeto que, ao mesmo tempo, eliminou os problemas ergonômicos que a antiga linha possuía, e gerou outros tipos de condições ergonômicas, que essa mesma linha não possuía.

No trabalho de Vecchia *et al.* (2019) os autores abordaram um estudo baseado nas práticas de *lean manufacturing*, onde o objetivo foi propor melhorias no setor produtivo onde realiza o corte de chapas finas, em uma empresa de elevadores localizada na região sul do Brasil. Os autores utilizaram diversas ferramentas como, análise de tempos, controle e dimensionamento de estoque e matéria prima. Dentre os resultados obtidos os autores retratam que houveram reduções significativas das perdas ocorridas no processo atual, os ganhos de produtividade foram observados em diversas áreas como na qualidade, redução de estoque e retrabalhos.

Segundo Vilar *et al.* (2016) tem como objetivo de orientar como pode ser feito e o que deve ser avaliado em uma pesquisa adequada para a aplicação de métodos enxutos, um dos fatores críticos de sucesso para a manutenção da produção enxuta é o uso de métodos que permitam avaliar a evolução do sistema à medida que é implementado, guiando o desenvolvimento futuro do assunto, alguns métodos avaliados foram adequação ao sistema produtivo, avaliação ponderada de práticas, identificação de níveis de implementação e usabilidade, os resultados obtidos mostram que os métodos atuais são procedimentos sofisticados que continuam evoluindo, por outro lado, é possível observar que a adequação ao sistema produtivo e a avaliação sistêmica e ponderada das práticas ainda são requisitos negligenciados e que sinalizam o caminho para pesquisas futuras.

Neste trabalho Lima e Martins (2018) utilizou o sistema *lean* para otimização de recursos em uma indústria moveleira, em uma unidade situada no Norte do Brasil, no estado de Belém do Pará, com objetivo de demonstrar os benefícios do

Pensamento Enxuto, que consistiu em coletar dados de forma quantitativa, utilizando diversas ferramentas como mapeamento de fluxo de valor, *just in time*, padronização, estudo de tempos, célula de manufatura e balanceamento de fluxo de carga, com isso verificar o uso das ferramentas e o que as mesmas podem agregar nos processos produtivos, obtendo resultados na eliminação de desperdícios, redução dos custos de produção e padronização das operações nos processos, todas paradas para estoque foram eliminadas fazendo o processo seguir um fluxo contínuo e eliminando as operações que não agregam valor ao produto.

Para Godoy *et al.* (2018) a influência positiva no uso da ferramenta *Lean manufacturing* em uma empresa que não possui metodologia de gestão para o Sistema *Toyota* de Produção, em uma indústria que terceiriza serviços para exportação do setor coureiro calçadistas de médio porte localizada no polo industrial do RS, Brasil, utilizou uma abordagem qualitativa descritiva para realizar os estudos com base em um sistema de manufatura enxuta, observando o mapeamento dos processos, utilizando as ferramentas *Kanban*, *Takt-Time* (balanceamento na linha de produção e cronoanálise), *Poka-Yoke*, *Setup*, como base para mensuração dos possíveis gargalos, em resultado disto os mapeamentos aplicados identificaram-se a adaptação de novas máquinas para melhores resultados de produção, assim como se intensificou o mapeamento dos caminhos críticos que agregam e não agregam valor no ambiente operacional produtivo.

Em seguida Coleone e Fróes (2019) realizou um estudo de caso para melhorar o arranjo físico do chão de fábrica uma empresa no setor têxtil, situada no interior do estado de São Paulo, visando desenvolver uma proposta de melhoria no *layout* de um setor específico, com objetivo de uma pesquisa exploratória, realizando o diagnóstico da situação atual, e elaborando uma proposta de *layout*, as melhorias obtidas pelo novo arranjo físico levou a um resultado que contemplam eliminação de movimentações desnecessárias e diminuição do retrabalho.

Após as análises de alguns trabalhos encontrados na literatura pode-se perceber que diversas ferramentas podem ser utilizadas, conforme os autores citados utilizaram essas ferramentas para a realização de seus trabalhos, que pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de trabalhos relacionados ao *Lean*

Autores	Ferramentas
Coleone e Fróes (2019)	Estudo de caso para melhorar o arranjo físico do chão de fábrica.
Vecchia et al. (2019)	Análise de tempos, controle e dimensionamento de estoque e matéria prima.
Silva e Chirolí (2019)	As ferramentas utilizadas foram a Filosofia dos 5 Sentos, Adequação de <i>layout</i> , Troca Rápida de Ferramentas e Diagrama <i>Spaghetti</i> .
Godoy et al. (2018)	<i>Kanban</i> , <i>Takt-Time</i> (balanceamento na linha de produção e cronoanálise), <i>Poka-Yoke</i> e <i>Setup</i> .
Lima e Martins (2018)	Mapeamento de fluxo de valor, <i>just in time</i> , padronização, estudo de tempos, célula de manufatura e balanceamento de fluxo de carga.
Detregiachi Filho et al. (2017)	5S, o <i>Kaikaku</i> , a troca rápida de ferramenta, relatório A3, o planejamento <i>HoshinKanri</i> , mapeamento do fluxo de valor e padronização de trabalho.
Canton et al. (2016)	Concepção de espaço de trabalho a partir da perspectiva da ergonomia situada.
Sotsek e Bonduelle (2016)	Cronoanálise, modificações de arranjo físico (<i>layout</i>) e ferramenta <i>brainstorming</i> .

Fonte: Elaborada pelo Autor (2022).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado o trabalho de pesquisa pelos meios técnicos experimental qualitativo exploratório, com a coleta dos dados ligados a produção do local de montagem de rotores para motor elétrico da empresa em estudo.

3.1 Classificação de pesquisa

De acordo com Walliman (2015) métodos de pesquisa são técnicas utilizadas para a realização das pesquisas e proporcionam os caminhos possíveis que devem ser planejados pelo pesquisador para coletar, ordenar e analisar informações, de modo a escrever suas conclusões, ao escolher o método adequado ao seu tipo de pesquisa, assim será possível atribuir valor às suas conclusões, garantindo que o novo conhecimento tenha bases sólidas.

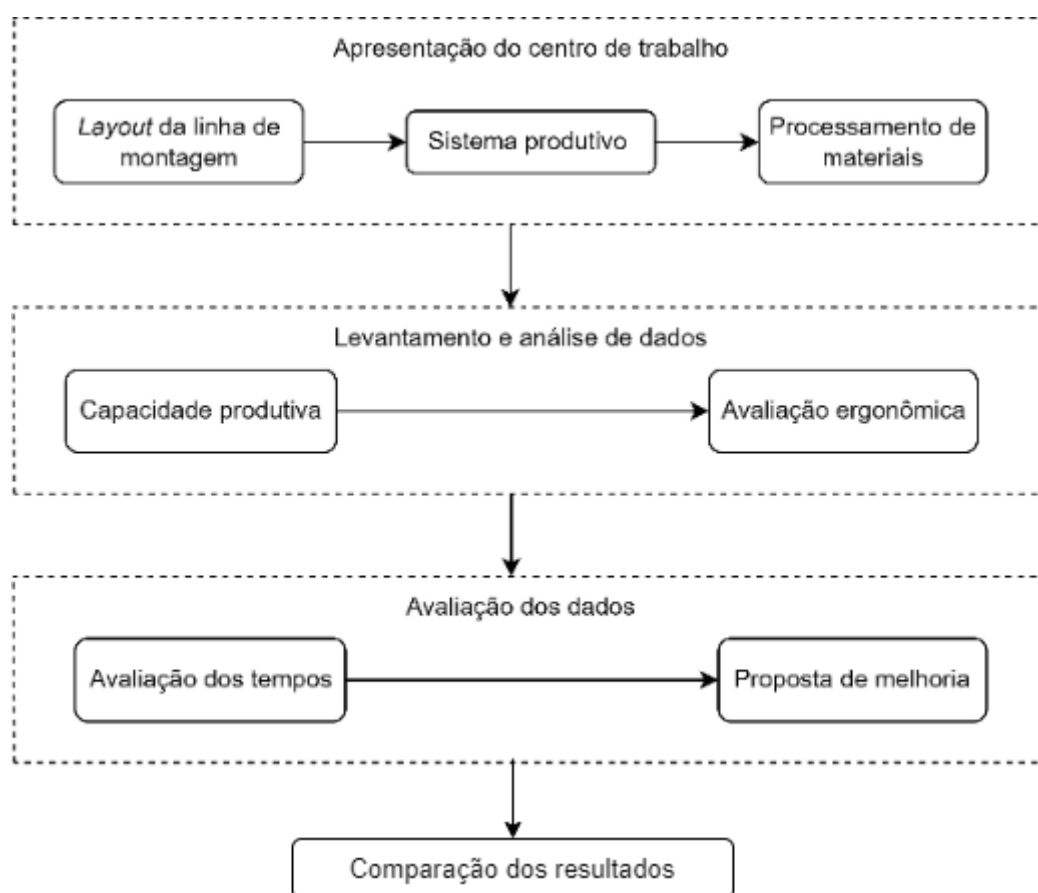
Para Matias-Pereira (2016), o método de pesquisa, é entendido como a forma escolhida pelo pesquisador para verificar a realidade dos fatos e explicar de maneira simples os fenômenos examinados, do ponto de vista, existem dois grandes métodos: quantitativo e qualitativo, esses métodos se diferenciam pela maneira de abordagem do problema, razão pela qual o método necessita estar compatível com o tipo de estudo que o pesquisador pretende desenvolver, é oportuno alertar que é a natureza do problema ou o seu nível de profundidade que vai determinar a escolha do método. O método experimental consiste em apresentar o objeto de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que a variável produz no objeto (MATIAS-PEREIRA, 2016).

Os estudos exploratórios nessa modalidade de estudo buscam descobrir se existe ou não um fenômeno, visa proporcionar maior familiaridade com o problema com intuito de torná-lo claro ou de construir hipóteses, envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado, análise de exemplos que estimulem a compreensão, assume, em geral, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso, um estudo exploratório deve ser considerado, sempre, como o primeiro passo na investigação, é utilizado quando o pesquisador quer investigar tópicos onde existe pouco conhecimento, deveria ser simples, mas muito completo, às vezes, o objetivo da investigação é o próprio método de investigação. (MATIAS-PEREIRA, 2016).

3.2 Fluxo metodológico

A Figura 8 apresenta o fluxo metodológico adotado neste trabalho, este tem como objetivo organizar e definir as etapas da pesquisa realizadas na empresa em estudo. Pode-se observar que este fluxo está dividido em 3 macro atividades, iniciando com a apresentação do centro de trabalho para entender como é o funcionamento do centro de trabalho; seguido do levantamento e análise de dados; e pôr fim a avaliação destes dados.

Figura 8 - Fluxo metodológico



Fonte: Autor (2022).

O trabalho apresentado foi aplicado no setor de usinagem de eixos em uma empresa multinacional, fabricante de motores elétricos, que está localizada no norte do estado de Santa Catarina, na apresentação do centro de trabalho, é apresentado o local onde a pesquisa irá ser realizada, pelo meio do sistema produtivo, apresentando o *layout* atual, as máquinas e equipamentos, bem como com a descrição de como é realizado o processamento dos materiais. Cabe ressaltar que os dados coletados serão apresentados de forma a não divulgar questões estratégicas

da empresa em estudo, conforme as orientações do documento de Solicitação de Autorização para Pesquisa (APÊNDICE A – Termo de autorização para pesquisa).

Posteriormente, com o levantamento de dados, foi realizada uma análise do centro de trabalho, em busca de encontrar pontos a serem melhorados, como a capacidade produtiva atual. Assim se realizou um levantamento dos tempos atuais e de dados das funções realizadas por cada operador da célula de trabalho, propondo-se a necessidade de melhoria, tanto no projeto de ferramentas e bancadas de trabalho, avaliando as posturas ergonômicas dos operadores, sendo envolvido o chefe da seção, junto com técnico de área, bem como o crono-analista.

Finalizando a concretização do plano proposto, realiza-se a avaliação de tempo, esta etapa do trabalho observou-se a uma base concreta de dados obtidos. Está se realiza juntamente ao acompanhamento dos movimentos que os operadores realizam para executar suas tarefas, aplicando melhorias na célula de trabalho. Estas melhorias terão por base a filosofia *Lean Manufacturing* para otimizar o desempenho produtivo, organizando os processos para acelerar as sequências das atividades, e por fim comparar os resultados obtidos durante a aplicação das metodologias.

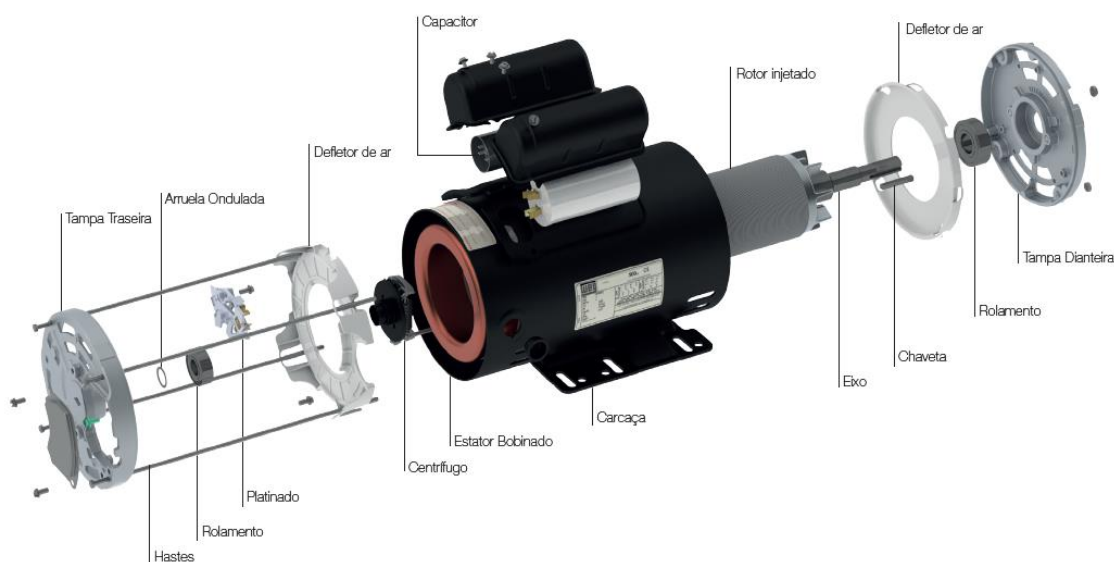
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será realizada a pesquisa experimental prática para entender o levantamento da análise de dados e seus resultados, identificando possíveis perdas de produtividade por fatores da manufatura e melhorando o sistema para melhor desenvolvimento do sistema produtivo.

4.1 Apresentação do centro de trabalho

O trabalho desenvolvido nesta pesquisa foi realizado em uma multinacional brasileira fabricante de motores elétricos, com sua matriz operacional no sul do Brasil na cidade de Jaraguá do sul no estado de Santa Catarina, com mais de 60 anos no mercado, e com aproximado mais de 23 mil colaboradores trabalhando na matriz, que busca sempre o crescimento contínuo e sustentável garantindo a simplicidade e qualidade na fabricação dos seus produtos. O centro de trabalho em estudo é uma célula de montagem de rotores, um dos principais componentes dos motores elétricos, conforme pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Principais componentes do motor elétrico



Fonte: Weg (2019).

Para Petruzella (2013) o motor elétrico converte energia elétrica em energia mecânica usando campos magnéticos que interagem entre si, os motores elétricos tem muitas funcionalidades com uma variedade de operações nas áreas residenciais,

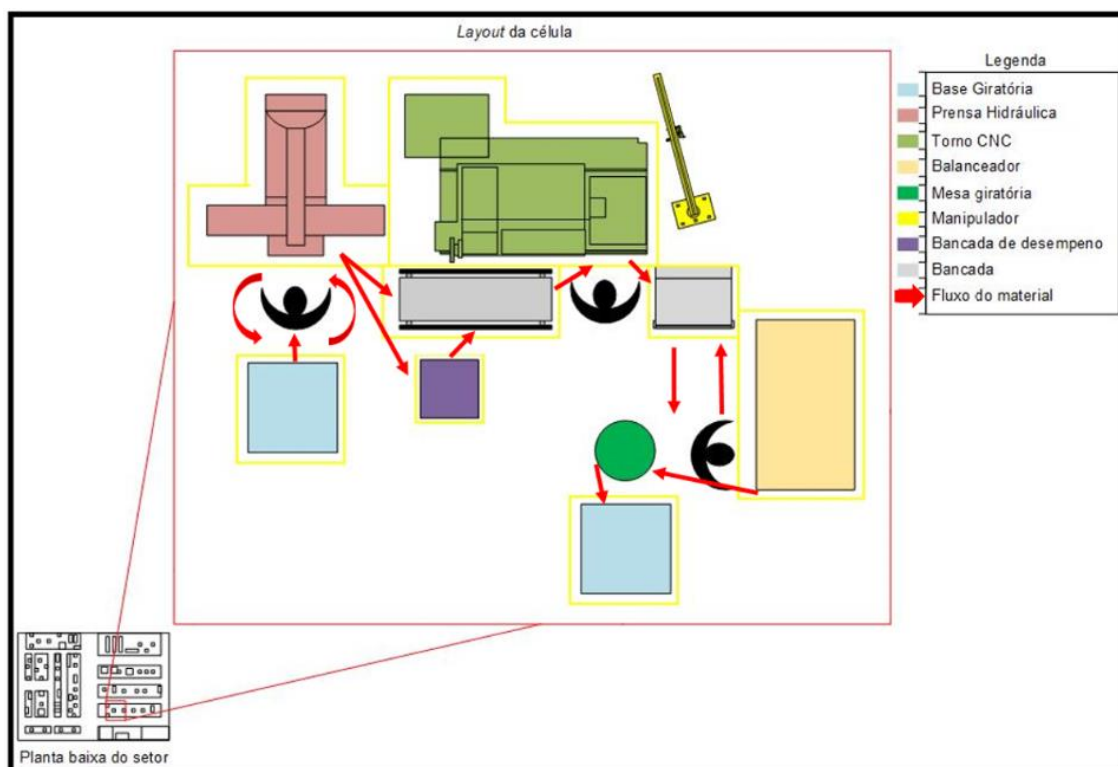
comerciais e industriais, o motor elétrico funciona com base no magnetismo e correntes elétricas, existem dois tipos básicos de categorias de motores: CA e CC, estes dois tipos usam os mesmo componentes, mas com finalidades que lhes permitem operar com dois tipos diferentes de fonte de alimentação, sendo elas o magnetismo que é a força que produz a rotação de um motor, e também o eletromagnetismo um tipo semelhante de campo magnético que se produz em torno de um condutor que transporta corrente, o motor elétrico gira como resultado da interação de dois campos magnéticos, como a atração e a repulsão dos polos magnéticos que são usadas para produzir uma força de rotação.

O funcionamento das seguintes partes do motor elétrico é explicada com cada componentes, o eletroímã é a parte móvel (rotor), e o imã permanente, a parte fixa (estator), com os polos magnéticos iguais se repelem, fazendo o rotor a começar a girar, após iniciar a rotação, a força de atração entre os polos opostos se torna forte o suficiente para manter o imã permanente em rotação, o eletroímã rotacional até que os polos opostos estejam alinhados, os polos iguais da armadura e do campo então se repelem, fazendo o rotor continuar a rotacionar (PETRUZELLA, 2013).

4.1.1 *Layout* da linha de montagem

A célula de montagem de rotores está localizada na seção de usinagem de eixos B, conforme pode-se observar na descrição da Figura 10, onde atuam 3 operadores, o setor conta ainda com duas bases giratórias que comportam as grades para armazenamento da matéria prima, prensa hidráulica, torno CNC, balanceador, mesa de desempenho, mesa giratória, bancada, calha de transporte, e um manipulador (um sistema de talha para movimentação de material).

Figura 10 - Layout atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

4.1.2 Sistema produtivo

O método de trabalho se baseia no sistema *just-in-time*, com ordens de produção programada pelo PCP do setor, baseado na filosofia de produzir só o necessário quando solicitado, para evitar estoques e acúmulo de material, que reduz os custos interno da produção, com a matéria prima em estoque é despesa para manter o material parado, e causando congestionamento em novos produtos que serão fabricados, reduzindo o giro líquido de vendas.

Composto por um *layout* celular de trabalho cujo tem a forma em L com um sistema de produção baseada por produto para atender a demanda dos demais lotes solicitados para a produção, é reduzido o número de operadores nas células de trabalho para que não haja excesso de pessoas, e aumentando o número de células no setor, com base na célula em estudo existe mais 3 células com o mesmo funcionamento de *layout*, para atender a demanda da produtividade, em baixo tempo, com produção de lotes com média de 400 rotores a cada turno, variando os diferentes modelos de produtos fabricado.

4.1.3 Processamento de materiais

A Figura 11 mostra uma visão geral do *layout* do setor em estudo, nesta pode-se observar a disposição dos equipamentos, os materiais e a localização dos operadores, os principais pontos em destaque nesta imagem são:

1. Base giratória de entrada de materiais
2. Prensa hidráulica
3. Calha para movimentação do material
4. Torno CNC
5. Balanceador
6. Base giratória para saída de materiais
7. Bancada de desempenho
8. Manipulador

Figura 11 - *Layout* da célula de trabalho e disposição dos equipamentos



Fonte: Autor (2022).

Para iniciar a fabricação do rotor é necessário a ordem de produção, que determina o eixo correto e o rotor adequado para a montagem, especificando as operações corretas necessárias para a fabricação, o material já separado por outro funcionário, para melhorar o atendimento das células, é iniciado com o rotor bruto que está acondicionado em grade que será posto na base giratória de entrada [1], até o momento é a melhor forma de pega e movimentação do material realizado pelo operador da prensa para melhorar o fluxo.

O operador da prensa [2] analisa a ordem de trabalho verificando se o rotor e o eixo descrito em ordem confere com o cartão do material disposto pela operação anterior, caso esteja incorreto é necessário informar os líderes de equipe para corrigir o erro.

Antes de prensar o eixo no rotor, é necessário medir o tamanho do comprimento das chapas que formam o rotor injetado, os rotores são alocados em cima de uma base da prensa e preparados para a prensagem, antes da prensagem é necessário lubrificar o rotor internamente com óleo lubrificante, este óleo é diluído em água para se obter uma mistura homogeneia com uma proporção de 1 litro de óleo para 5 litros de água, este óleo lubrificante evita que ocorra deformidades na prensagem.

Assim é regulado a prensa com a medida de prensagem descrita em ordem de produção, o operador deve conferir se medida de prensagem está correta na primeira peça de preparação e na segunda para ter a garantia que prensagem está correta.

Com um sistema de *poka-yoke* já instalado na máquina, a cada 5 peças deve se conferir a medida de prensagem da peça que foi prensada e a peça anterior, com o rotor e o eixo já prensado, antes de seguir para a próxima operação que será de torneamento, o operador da prensa deve verificar descrito na ordem de produção se é necessário endireitar os rotores, se for necessário endireitar os rotores, é preparado uma mesa de desempenho [7] com base com relógios comparadores para verificar o batimento radial, para garantir que após o rotor ser torneado garanta sua cilindricidade, assim o rotor endireitado é alocado em uma calha de transporte [3] que rotaciona até o torno cnc.

No torneamento [4], é utilizado um torno cnc, o operador prepara a máquina conforme o material descrito na ordem de produção, rotores com o peso acima de 5 quilos é necessário a utilização de um dispositivo chamado manipulador (sistema de talha, com uma base com ímã) [8], para posicionar o rotor dentro do torno.

Na preparação o operador deve seguir os procedimentos descritos na norma da empresa, que informa, na preparação ou primeira peça de cada lote a ser torneada, no corretor dos eixos da máquina deve se sair da medida 0,5 décimos de milímetros no diâmetro, para evitar falhas operacionais ou por desgaste da ferramenta, que pode gerar refugos.

Após conferir a medida do rotor, pode ajustar o diâmetro nominal descrito na ordem de produção, que garante que o rotor se encaixe no estator bobinado para que não ocorra arraste no isolamento interno do motor elétrico que diminui a eficiência e a qualidade, após torner o rotor deve verificar a medida nominal em 3 pontos do comprimento do rotor, observando se o mesmo não tenha conicidade entre o início do rotor e o final, e deve verificar o batimento radial após o torneamento.

Com um sistema de *poka-yoke* instalado no torno cnc o operador necessita medir o rotor torneado a cada 5 peças para garantir a qualidade do produto final, o acabamento da rotor torneado é fundamental para a melhor eficiência do motor elétrico, torneiro acondiciona o rotor em cima de uma bancada para seguir para a próxima etapa de balanceamento de rotor.

A operação seguinte, segue para o balanceador [5], o operador do balanceador deve preparar a máquina conforme a ordem de produção, para balancear os rotores é necessário calibrar o balanceador, a calibração deve ser feita no início do turno de trabalho e após a refeição ou quando o operador ter a percepção que o balanceamento está desconforme, com uma bucha centralizadora.

Cada material a ser balanceado tem sua bucha centralizadora que é alocada no canal de chaveta da polia do eixo, este serve para informa onde necessita do contra peso no ponto que está desbalanceado, descrito em ordem de produção o operador verifica a necessidade da utilização de massa para balanceamento ou arruelas para balancear, rotores que utilizam massa para balanceamento, está massa se aloca internamente no rotor, já os rotor que utilizam arruelas para balanceamento é necessário que sejam alocados em cima de uma mesa giratória para o operador conseguir utilizar um martetele pneumático para fixar a arruela no pino injetado.

Após a adição do contra peso se verifica se o rotor está balanceado, o balanceamento garante que o motor elétrico não tenha vibrações no seu funcionamento, o rotor é acondicionado na grade de saída [6] e carimbado com o número do material, com o auxílio de uma transpaleteira elétrica a grade de material está pronto para seguir para as próximas operações.

4.2 Levantamento e análise de dados

Neste capítulo será descrita a capacidade produtiva do local estudado, bem como será apresentada uma descrição da avaliação ergonômica.

4.2.1 Capacidade produtiva

A capacidade produtiva da célula de trabalho é baseada na quantidade de horas programadas pelo Planejamento de Controle da Produção (PCP) devido a necessidade de montagem dos motores de acordo com a demanda de vendas do mercado.

A célula tem capacidade de trabalho de 8 horas diárias em dois turnos, por 5 dias da semana e 4 semanas por mês. Ela é composta por três funcionários, o cálculo da definição da capacidade produtiva é baseado no tempo médio de fabricação das peças por célula, estas informações podem ser observadas na Tabela 5, está apresenta a produção mensal em um período de 6 meses, para compreender a necessidade de melhoria na célula de trabalho.

Tabela 5 - Capacidade de produção mensal (dados de 2021)

Dados	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Dias úteis	23	22	21	20	21	17
Horas Programadas	301	337	331	337	341	299
Horas Disponíveis	348	425	409	389	409	332
Ordens de trabalho	464	749	720	667	625	607
Peças (un.)	18802	18099	18025	17188	18066	15967
Turnos	2	2	2	2	2	2
Tempo Médio de Fabricação (min)	0,96	1,12	1,10	1,18	1,13	1,11

Fonte: Empresa em estudo (2022).

De forma explicativa, uma ordem genérica de produção se define de acordo com a demanda do material solicitado. No caso, onde são solicitadas 5 peças, estas que utilizam 4 minutos e 32 segundos para produção, somados a mais 6 minutos de tempo de preparação das máquinas. Assim pode-se definir que a ordem de produção será de 66 peças por hora, ou seja, 1 peça a cada 1,1 minuto.

4.2.2 Avaliação ergonômica

As operações nas máquinas ferramentas automatizadas da célula de trabalho são realizadas de forma manual durante 8 horas diárias a cada turno, incluindo 30 minutos de parada para refeição e 15 minutos de ginástica laboral, para aliviar as tensões musculares ocasionadas pela atividade repetitiva. As funções necessárias para execução das atividades são basicamente, movimentar-se; se esticar; pegar; rotacionar o tronco; inclinar a cervical; levantar; e abaixar o material.

Pode-se observar a Figura 12, o movimento que o operador necessita realizar para alcançar o rotor para executar sua operação de balanceamento. Na Figura 12-a observa-se a altura que o operador realiza seu trabalho fazendo a pega da peça com uma das mãos. Se for necessário deslocar a peça com as duas mãos, o operador deve se deslocar até a bancada para alcançar os rotores conseguindo assim executar o movimento e posicionar a peça na máquina. Já na Figura 12-b pode-se ver a distância para deslocamento, que neste caso é de 600 milímetros, sendo assim fora do alcance de trabalho ideal para trabalhos em bancadas.

Figura 12 - Operação de balancear: (a) Selecionando o rotor; (b) Posicionando o rotor no balanceador



Fonte: Autor (2022).


















Para um trabalho seguro e bem executado a pega do material deve ser realizada com as duas mãos possibilitando utilizar a força necessária para segurar o material e assim evitar o risco de queda do mesmo, o que pode gerar uma lesão em seus membros inferiores. Com a necessidade de alcançar o rotor, posicionar no balanceador e baixar na grade de saída de materiais, e considerando uma taxa de

produção de 400 rotores diários seriam necessários mais de 1200 movimentos executados em um turno de trabalho, o que pode possibilitar uma falha motora proveniente de alguma fadiga muscular.

Utilizando algumas ferramentas para avaliação da postura, pode-se observar que o trabalho executado gera alguns movimentos e posturas inadequadas. Estes podem gerar alguns riscos para saúde, dentre estes pode-se citar ficar em pé por muito tempo, que pode gerar varizes; braços esticados, gerando dor nos ombros e braços; e rotacionar o corpo que pode afetar a coluna vertebral.

De acordo com o observado na Figura 12 pode-se aplicar a ferramenta OWAS, conforme mostrado na Figura 13, está gera um registro ergonômico para classificar a postura atual do operador que neste caso é descrita pela numeração 4162 BL. Através destas observações pode-se classificar esta postura como Classe 4: ou seja, postura que deve merecer atenção imediata.

Figura 13 - Método OWAS, análise da classificação da postura antes da melhoria

		LEGENDA				
		Selecionados				
DORSO						
	1 Reto	2 Inclinado	3 Reto e torcido	4 Inclinado e torcido		
	BRAÇOS					
		1 Dois braços para baixo	2 Um braço para cima	3 Dois braços para cima		
PERNAS						
	1 Duas pernas retas	2 Uma perna reta	3 Duas pernas flexionadas			
						
4 Uma perna flexionada	5 Uma perna ajoelhada	6 Deslocamento com pernas	7 Duas pernas suspensas			
CARGA						
	1 Carga ou força até 10 kg	2 Carga ou força entre 10 kg e 20 kg	3 Carga ou força acima de 20 kg			
				xy	Código do local ou seção onde foi observado	

Fonte: Adaptado de Iida (2005).

Observou-se as condições atuais, aplicando a equação de *NIOSH*:

$$PRL = 23 \times 0,416 \times 0,61 \times 1 \times 0,712 \times 0,55 \times 0,9$$

Para esta mesma análise de posto de trabalho, aplicado a equação de *NIOSH*, se obteve-se um valor de peso limite recomendável para a situação atual de levantamento de carga de 2,057 kg.

4.3 Avaliação dos dados

Nesta etapa é realizada a avaliação dos tempos obtidos para desenvolvimento da proposta de melhoria.

4.3.1 Avaliação dos tempos

Esta etapa foi realizada com o auxílio de um crono-analista da empresa, nesta atividade foi utilizado um cronômetro digital para registrar as tomadas de tempo realizadas pelo operador no balanceamento do material, na Tabela 6 pode-se observar as atividades, bem como os tempos de cada atividade.

Tabela 6 - Realização das atividades antes da melhoria

Atividade	Tempo da atividade (s)
Deslocar o tronco	1,58
Pegar peça e colocar na máquina	3,94
Acionar o start	2,15
Tempo total do processo	7,67

Fonte: Autor (2022).

Devido ao projeto atual do posto de trabalho, onde o operador tem a necessidade de se deslocar cerca de 600 mm para alcançar o material e o processar no equipamento com um tempo de aproximadamente 7,67 segundos, ao longo de 8 horas diárias, gerando um gargalo no final da célula de trabalho.

4.3.2 Proposta de melhoria

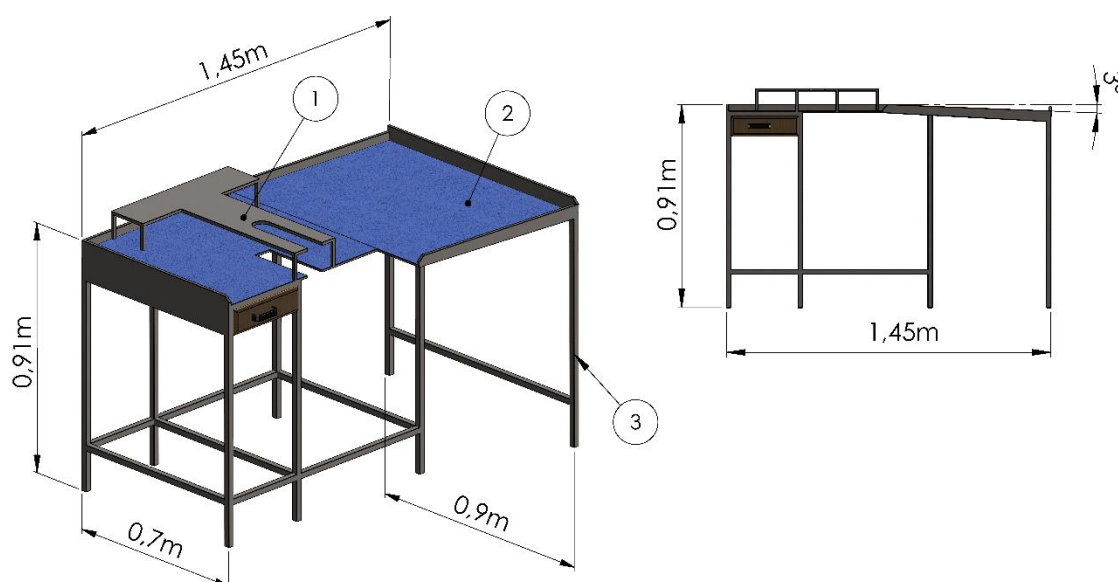
De acordo com a avaliação ergonômica de postura aplicada através do método *OWAS*, bem como do cálculo de *NIOSH*, pode-se concluir que se o operador continuar nestas condições de trabalho em um longo período de tempo, isto pode gerar riscos futuros à sua saúde física.

Diante disso baseado em critérios da filosofia *Lean Manufacturing*, que preza pela bem estar físico das pessoas, foi idealizada como ideia principal uma adaptação do projeto da estrutura da bancada de trabalho para diminuir a distância de movimentação do operador, incluindo modificações de *layout*, redução dos tempos; e a melhoria ergonômica do posto de trabalho.

Assim foi necessário desenvolver um projeto para uma nova bancada, atendendo às necessidades específicas do local de trabalho, esta é apresentada na Figura 14. Nesta pode-se observar o comprimento total de 1,45 metros, altura de 0,91 metros, bem como o dispositivo para processamento das peças (ver Figura 14 - item 1).

Na Figura 14 também pode-se observar no item 2 um revestimento realizado com uma lona de borracha, este serve de proteção para não danificar a estrutura da bancada, bem como, proteger o diâmetro externo do rotor usinado evitando problemas de qualidade. No final da banca foi projetado um batente para que o rotor não caia no chão, este possui as bordas revestidas com cantoneiras emborrachadas para evitar possíveis lesões aos operadores. No item 3 apresentado na Figura 14 observa-se a estrutura da bancada projetada em aço quadrado tubular.

Figura 14 - Projeto de melhoria da bancada



Fonte: Autor (2022).

Para execução e construção desta adaptação e melhoria do posto de trabalho foi necessário fazer a compra dos materiais, estes são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Custo do investimento

Materiais	Valor (R\$)
Tubo estrutural quadrado SAE 1020 20mm x 20mm x 8000mm	R\$ 131,16
Chapa de aço estrutural SAE 1020 6,30mm x 750mm x 900mm	R\$ 327,91
Pintura	R\$ 14,68
Lona de borracha	R\$ 8,76
Mão de obra	R\$ 32,49
Total	R\$ 515,00

Fonte: Autor (2022).

Foram adquiridos aproximadamente 8 metros de tubo estrutural quadrado do aço SAE 1020 medindo 20mm x 20mm, uma chapa de aço estrutural SAE 1020 medindo 750mm x 900mm x 6,3mm. O trabalho para a fabricação foi realizado pelo setor de caldeiraria interna da empresa, incluindo processos de corte e solda dos materiais.



















Foi realizada a nova pintura que vai proteger a estrutura de agentes corrosivos, aumentando o tempo de vida útil do novo equipamento de trabalho, e pôr fim na finalização da montagem, aplicou se a cultura do 5's com um acabamento utilizando uma lona de borracha na parte superior da bancada, diminuindo impactos das peças. Na Figura 15-a é apresentada a bancada construída já no posto de trabalho. Já na Figura 15-b pode-se observar que o operador realiza seu processo mais próximo ao material a ser balanceado.

Figura 15 - Bancada adaptada

Fonte: Autor (2022).

Após a implantação da melhoria aplicou-se novamente as metodologias do sistema OWAS para classificação da postura, obtendo-se assim uma classificação de postura 3112 BL resultando em uma classificação 1, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Classificação da postura depois da implantação da melhoria

DORSO	 1 Reto	 2 Inclinado	 3 Reto e torcido	 4 Inclinado e torcido	LEGENDA  Selecionados
	BRAÇOS	 1 Dois braços para baixo	 2 Um braço para cima	 3 Dois braços para cima	
PERNAS		 1 Duas pernas retas	 2 Uma perna reta	 3 Duas pernas flexionadas	
		 4 Uma perna flexionada	 5 Uma perna ajoelhada	 6 Deslocamento com pernas	 7 Duas pernas suspensas
CARGA	 1 Carga ou força até 10 kg	 2 Carga ou força entre 10 kg e 20 kg	 3 Carga ou força acima de 20 kg	xy Código do local ou seção onde foi observado	

Fonte: Adaptado de Iida (2005).

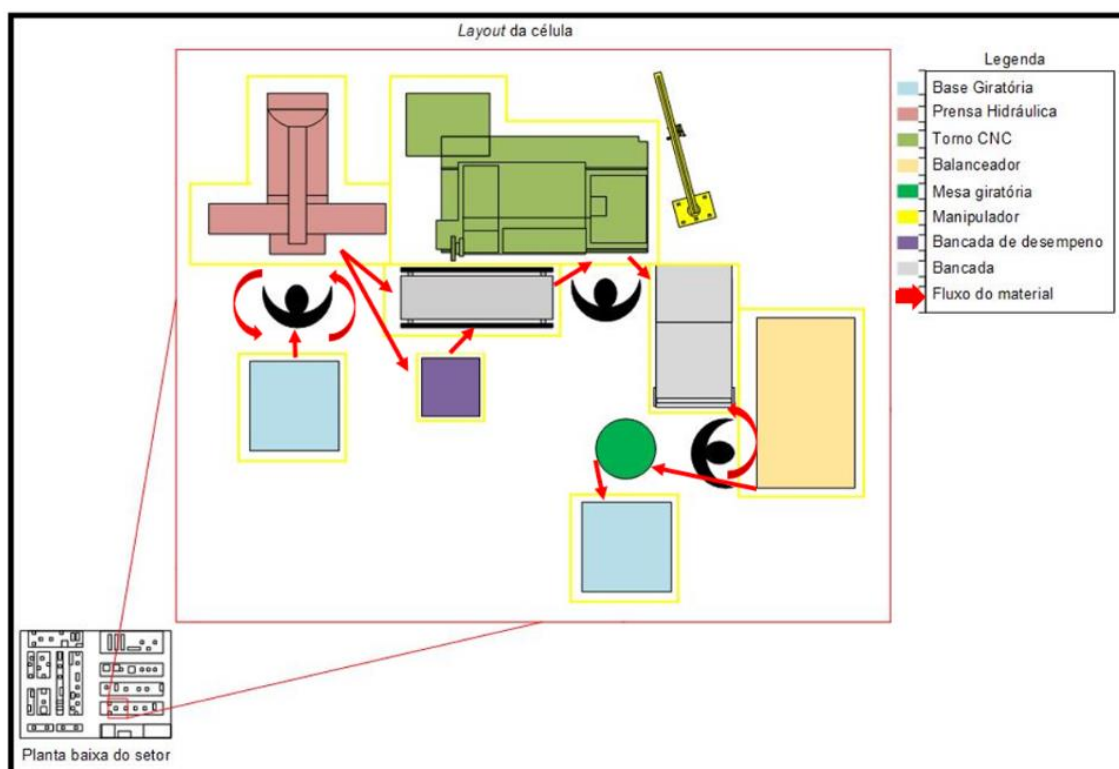
Realizado as novas verificações aplicou-se novamente a equação de *NIOSH*:

$$PRL = 23 \times 1 \times 0,64 \times 1 \times 0,712 \times 0,55 \times 1$$

Esta classificação é considerada como postura normal, que dispensa cuidados, a não ser em casos excepcionais. Com a aplicação da equação de *NIOSH* o peso limite recomendável para o operador executar sua função atingiu aproximadamente 5,76 kg melhorando a capacidade de levantamento de carga diminuindo o esforço físico do operador.

Após a implementação destas alterações pode-se consolidar a modificação do *layout* (ver Figura 17), este foi disposto de forma a minimizar o deslocamento do operador e dos materiais em processo.

Figura 17 - Atualização do layout



Fonte: Autor (2022).

Diante disto a proposta de melhoria obteve uma otimização na movimentação do material, aumentando a segurança do operador adequando a forma de manusear o material com as duas mãos para inibir a queda do mesmo, reduzindo a fadiga física de seus membros.

Assim, após estas modificações pode-se recalcular o tempo de operações executadas, estes dados são apresentados na Tabela 8, onde pode-se observar o tempo total do processo é de 3,56 segundos, o que representa uma redução de aproximadamente 46% do tempo observado antes da aplicação das melhorias.

Tabela 8 - Tempo das operações depois da melhoria dos movimentos

Atividade	Tempo atividade (s)
Deslocar o tronco	0
Pegar peça e colocar na máquina	2,7
Acionar o start	0,86
Tempo total do processo	3,56

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 9 mostra dados coletados ao longo do período de 6 meses após a implementação das melhorias, estes são utilizados como diretrizes para realizar o levantamento e tomada de decisões, que é direcionado pela demanda da produtividade e pela capacidade da mão de obra disponível.

Tabela 9 - Capacidade de produção mensal (dados 2022)

Dados	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho
Dias úteis	17	22	24	20	21	23
Horas Programadas	191	285	304	269	266	220
Horas disponíveis	270	348	380	317	332	332
Ordens de trabalho	327	474	536	482	404	361
Peças (un)	11612	17789	19386	18122	17256	13234
Turnos	2	2	2	2	2	2
Tempo Médio de Fabricação (min)	0,99	0,96	0,94	0,89	0,92	0,99

Fonte: Empresa em estudo (2022).

Considerando que esta aplicação foi apenas em um centro de trabalho da empresa em estudo, pode-se estimar qual seria o impacto destas mudanças para uma maior quantidade de peças produzidas. Neste trabalho será calculado o ganho potencial (GP), conforme mostra a Equação 2. Resultado que se refere ao valor monetário economizado pela empresa anualmente, isto levando em consideração o custo de mão de obra, a quantidade de peças produzidas, bem como a variação de tempo economizado com a implementação das melhorias.

$$GP = \frac{\Delta t}{3600} \times QPPA \times CMO \quad (2)$$

Onde:

- GP = Ganho potencial (R\$);
- Δt = Variação do tempo (s);
- QPPA = Quantidade de peças produzidas por ano;
- CMO = Custo da mão de obra (R\$).

Considerando a quantidade de peças produzidas por ano em aproximadamente 200 mil unidades, o custo da mão de obra da operação em estudo de R\$ 18,83, bem como uma variação do tempo de produção de 4,11 segundos (7,67s – 3,56s), tem-se o ganho de produção calculado apresentado na Equação 3:

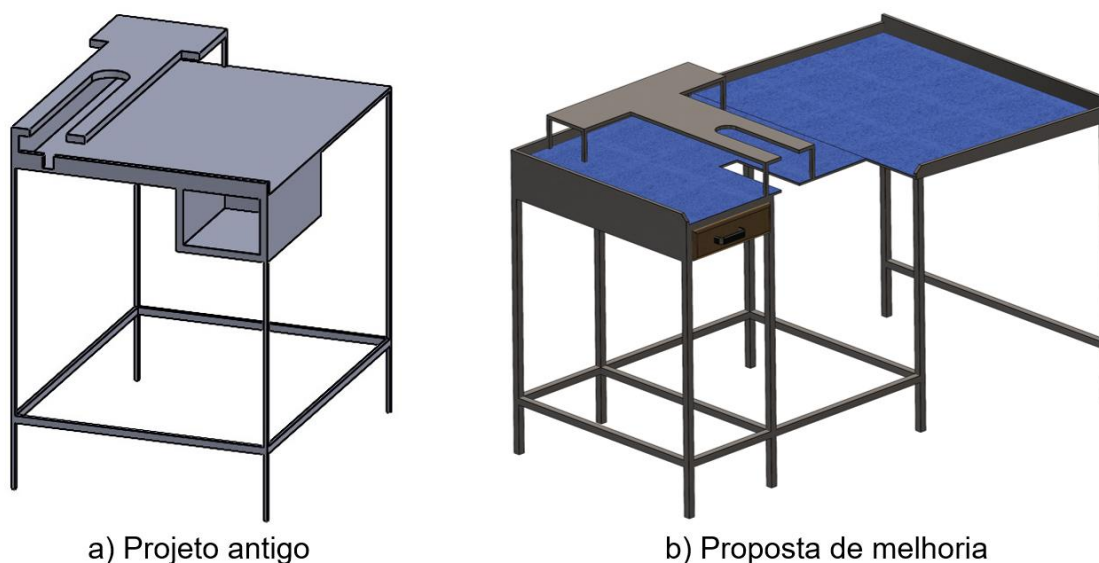
$$GP = \frac{4,11}{3600} \times 200000 \times 18 = R\$ 4.110,00 \quad (3)$$

Observa-se que anualmente a redução será de aproximadamente R\$ 4.110,00; juntamente com uma redução de 46% no tempo das operações realizadas.

4.4 Comparação dos resultados

Na Figura 18 é apresentado um comparativo dos projetos de bancada. Pode-se destacar neste comparativo que o projeto da bancada anterior (ver Figura 18-a), construída em aço estrutural SAE 1020 tem suas dimensões de 900 mm de largura por 880 mm de altura e 700 mm de comprimento, com o procedimento de medição de rotores o torneiro apoia o material em um suporte na parte superior da bancada no lado esquerdo da bancada, com esse suporte ocupa cerca de 300 mm da bancada, sobrando apenas 400 mm para acondicionar o material na bancada, com as suas laterais sem alguma proteção o risco de queda do rotor poderia gerar alguma lesão ao operador. Esses problemas e dificuldades foram solucionados com a implementação da nova bancada (ver Figura 18-b).

Figura 18 - Comparativo de bancadas – a) Projeto antigo; b) Projeto atual implementado



Fonte: Autor (2022).

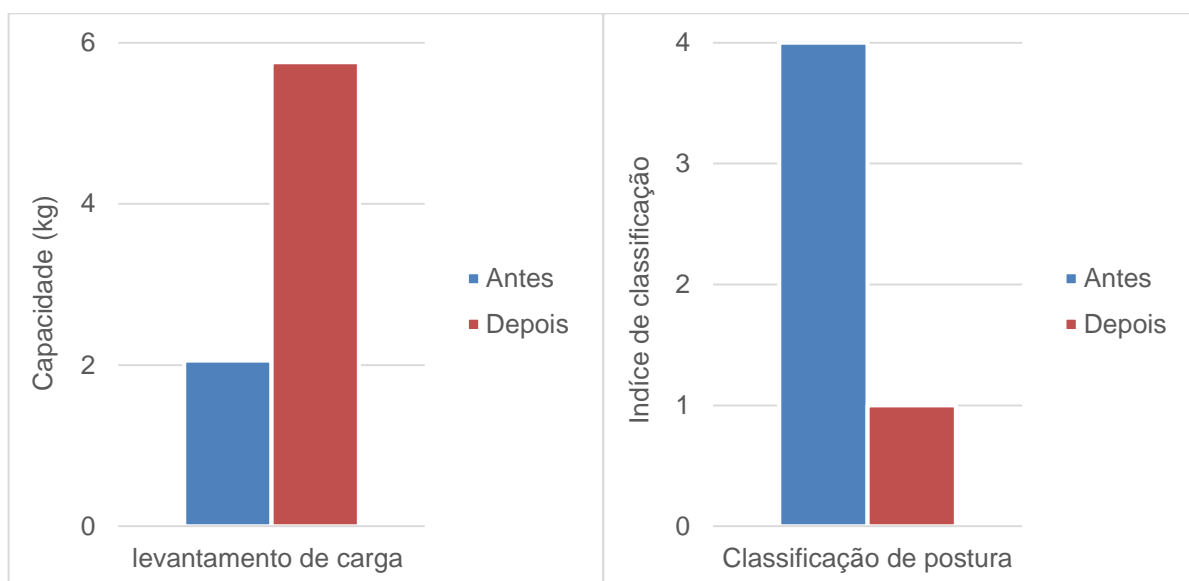
Na Tabela 10 é apresentado um comparativo da avaliação ergonômica antes e depois da implantação das melhorias, pode-se observar que a classificação da postura de trabalho saltou do nível 4 para nível 1, o que representa uma melhoria de grande potencial para os trabalhadores. Já o levantamento de carga passou a ser de 5,76 kg.

Tabela 10 - Comparativo da avaliação ergonômica antes e depois da implantação das melhorias

	OWAS	Classificação de postura	Levantamento de carga
Antes da melhoria	4162 BL	4	2,057 kg
Após a melhoria	3112 BL	1	5,76 kg

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 19 pode-se perceber a variação dos índices obtidos com a implantação das melhorias, no caso da capacidade o aumento representa uma variação de aproximadamente 180% em relação ao peso anterior, já na questão do índice de classificação de postura a mudança fez com que esse valor atingisse o melhor nível de postura, ou seja, nível 1.

Figura 19 - Comparativo do percentual de melhoria

Fonte: Autor (2022).

Diante ao relato do operador, após a melhoria aplicada as condições de trabalho o favoreceram de forma a lhe proporcionar melhores formas de pega do material, com mais precisão e segurança, além de não se inclinar-se para realizar o movimento do material, corrigindo ergonomicamente sua postura no posto de trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho procurou-se melhorar a manufatura de um posto de trabalho de montagem de rotores, aplicando as ferramentas do *Lean manufacturing*. Em concordância com a metodologia aplicada foram utilizadas as seguintes ferramentas; *Kaizen*; *5's*; *Takt time*; e *Layout*. Essas envolveram questões ergonômicas que foram discutidas através de ferramentas como a avaliação de *OWAS*, permitindo entender melhor as posições de trabalho realizadas do operador, bem como com auxílio do cálculo de *NIOSH* que determinou a força limite que o operador deve exercer durante suas atividades.

Em consonância com o objetivo geral deste trabalho essas ferramentas promoveram a otimização do setor em estudo, onde os movimentos realizados pelo operador foram melhorados.

Com a intenção de reduzir os movimentos que não agregam valor ao produto, foi proposto o desenvolvimento de uma nova bancada de trabalho, esta foi fundamental para aplicação da melhoria, permitiu que o material a ser executado na operação do balanceamento se direciona-se até o operador devido a inclinação adaptada na bancada que utilizou a força da gravidade para movimentar o material até o operador, sem ele ter a necessidade de se deslocar para alcançar o mesmo.

Com a aplicação das melhorias e com o rearranjo do *layout* estudado obteve-se um ganho na redução de tempo de 46% a cada operação realizada pelo operador, pode-se obter um ganho potencial de R\$ 4.110,00 reais ao ano apenas em um centro de trabalho, além de mitigar a fadiga muscular proveniente da execução das atividades realizadas pelo operador.

Para a realização do trabalho identificou-se pontos chaves, estes serviram de orientação para delinear a andamento das atividades no período da realização do trabalho. Observando o posto de trabalho notou-se que o gargalo da célula de montagem de rotores se direcionava diretamente ao posto de trabalho do balanceador. Assim com a melhoria do *layout*, juntamente com a adaptação da bancada pode-se desenvolver os objetivos específicos do trabalho como a cronoanálise do tempo das operações antes da melhoria. A cronoanálise evidenciou movimentos que não agregam valor ao produto, assim tomadas as decisões de adaptar os equipamentos ao homem notou-se a melhora na produtividade devido a reorganização do posto de trabalho.

Dentre os problemas presenciados no decorrer do estudo encontra-se a dificuldade em parar um posto de trabalho para alterações, o que compromete a produção em um primeiro momento. Além disso, aplicar a cultura de organização e a disponibilidade de equipe técnica a este fim.

Com a filosofia da manufatura enxuta a melhoria deve ser contínua, sugere-se para trabalho futuros, análise micro estrutural da qualidade da chapa do rotor injetado que interfere diretamente no rendimento do motor elétrico. Um possível estudo aplicado verificando quais possíveis insertos intercambiáveis de metal duro para usinagem da chapa do rotor injetado que proporciona um melhor acabamento superficial que está diretamente ligado também ao rendimento do motor elétrico, obtendo o melhor aproveitamento de sua vida útil ganhando na produtividade devido a redução das paradas para *setup* de ferramenta. Sugere-se também analisar as propriedades moleculares do óleo utilizado na prensagem do eixo no rotor para mitigar os defeitos ocorridos no processo. Esses estudos podem muito bem contribuir com a melhoria do processo produtivo deste setor.

REFERÊNCIAS

- ANTUNES, Junico; ALVAREZ, Roberto; KLIPPEL, Marcelo; BORTOLOTTI, Pedro; PELLEGRIN, Ivan de. **Sistemas de produção**: conceitos e práticas para projeto e gestão da produção enxuta. Porto Alegre: Bookman, 2008. 327 p.
- BALLÉ, Michael; JONES, Daniel T.; CHAIZE, Jacques; FIUME, Orest J. **A estratégia lean**: para criar vantagem competitiva, inovar e produzir com crescimento sustentável. Porto Alegre: Bookman, 2019. 262 p.
- CAMISASSA, Mara Queiroga. **Segurança e Saúde no trabalho**: NRS 1 a 37 comentadas e descomplicadas. 8. ed. Rio de Janeiro: Método, 2022. 928 p.
- CANTON, José Adriano *et al.* **Discussão pós implantação das possíveis contribuições da ergonomia no projeto de automatização de linhas de produção**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, Bauru, Sp, v. 11, n. 4, p. 267-283, 1 nov. 2016. A Fundação para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB). <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v11i4.1585>. Acesso em: 04 maio 2022.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Administração da produção**: uma abordagem introdutória. 16. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 179 p.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão da produção**: uma abordagem introdutória. 3. ed. Barueri, São Paulo: Manole, 2014.
- COLEONE, Murilo; FRÓES, Nádia Junqueira Martarelli. **Uma Proposta de Melhoria no Arranjo Físico de Uma Fábrica do Setor Têxtil**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, Bauru, Sp, v. 14, n. 3, p. 98-109, 1 jul. 2019. A Fundação para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB). <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v14i3.2608>. Acesso em: 08 junho 2022.
- CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G.N. **Just in time, MRP II e OPT**: um enfoque estratégico. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 186 p.
- DENNIS, Pascal. **Produção Lean Simplificada**: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 186 p.
- DETRREGIACHI FILHO, Edson Detregiachi *et al.* **Análise do Sistema Toyota em uma indústria de embalagens plásticas da região de Marília-SP**. Revista Gestão Industrial, Marília, Sp, v. 13, n. 1, p. 75-98, 8 set. 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/gi.v13n1.5061>. Acesso em: 04 maio 2022.
- GODOY, Leoni Pentiado *et al.* **O impacto do lean manufacturing como fator de melhoria no desempenho produtivo**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, Bauru, Sp, v. 13, n. 2, p. 69-88, 1 jun. 2018. A Fundação para o Desenvolvimento de Bauru (FunDeB). <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v13i2.1844>. Acesso em: 08 junho 2022.

- IIDA, Itiro. **Ergonomia Projeto e Produção**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 625 p.
- IMAI, Masaaki. **Kaizen: a estratégia para o sucesso competitivo**. 7. ed. São Paulo: Imam, 2011. 235 p.
- KROEMER, Karl H. E.; GRANDJEAN, Etienne. **Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 327 p.
- LAUGENI, Fernando P.; MARTINS, Petrônio G. **Administração da produção**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. 561 p.
- LIKER, Jeffrey K. **O modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 315 p.
- LIMA, Patrick Rusivel Brito de; MARTINS, Vitor William Batista. **Sistema lean para otimização de recursos em uma indústria moveleira: estudo de caso com foco nas ferramentas da produção enxuta**. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, Pr, v. 13, n. 3, p. 112-140, 11 jan. 2018. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/gi.v13n3.5640>. Acesso em: 08 junho 2022.
- MÁSCULO, Francisco Soares; VIDAL, Mario Cesar. **Ergonomia: trabalho adequado e eficiente**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 648 p.
- MATIAS-PEREIRA, José. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2016. 187 p.
- MONDEN, Yasuhiro. **Sistema Toyota de produção: uma abordagem integrada ao just-in-time**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 512 p.
- MORGAN, James M.; LIKER, Jeffrey K. **Sistema Toyota de desenvolvimento de produto: integrando pessoas, processo e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2008. 391 p.
- OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997. 150 p.
- ORTIZ, Chris A. **Kaizen e implementação de eventos kaizen**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 159 p.
- PEREIRA, Alexandre Demetrius. **Tratado de segurança e saúde ocupacional: aspectos técnicos e jurídicos, volume 4: nr-16 a nr-18**. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. 177 p.
- PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 359 p. (Tekne). José Lucimar do Nascimento.
- ROTHER, Mike. **Toyota kata: gerenciando pessoas para melhoria, adaptabilidade e resultados excepcionais**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 237 p.

SILVA, Guilherme Saba e; CHIROLI, Daiane Maria de Genaro. **Lean manufacturing: ações de melhorias em empresa metalmeccânica**. Navus: Revista de Gestão e Tecnologia, Florianópolis, Sc, p. 1-13, 1 ago. 2019. Acesso em: 04 maio 2022.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção**: o ponto de vista da engenharia de produção. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2007. 281 p.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018. 848 p.

SOTSEK, Nicolle Christine; BONDUELLE, Ghislaine Miranda. **Melhorias em uma empresa de embalagens de madeira através da utilização da cronoanálise e rearranjo de layout**. Floresta, Curitiba, Pr, p. 519-529, 30 set. 2016. Acesso em: 04 maio 2022.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Manufatura enxuta como estratégia de produção**: a chave para a produtividade industrial. São Paulo: Atlas, 2015. 316 p.

VECCHIA, Fábio Antônio Dalla *et al.* **Práticas lean nos processos produtivos industriais**: ações para a redução de custos e resíduos de matéria-prima. Exacta: Engenharia de Produção, Rio Grande do Sul, p. 1-15, 24 jan. 2019. Acesso em: 04 maio 2022.

VILAR, Flora Magna do Monte *et al.* **Métodos para avaliação da produção enxuta**: revisão e análise crítica. Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, Pr, v. 12, n. 1, p. 1-23, 31 mar. 2016. Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). <http://dx.doi.org/10.3895/gi.v12n1.3225>. Acesso em: 08 junho 22.

WALLIMAN, Nicholas. **Métodos de Pesquisa**. São Paulo: Saraiva, 2015. 192 p. (Homem, cultura e sociedade).

WEG. **Motor 2 cv 2P F56HC 1F 110-127/220-254 V 60 Hz IC01 - ODP - Com pés**. 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%3%A9tricos/Monof%3%A1sico/Usos-Gerais/Motor-de-Chapa-Aberto-%28IP21%29/Motor-2-cv-2P-F56HC-1F-110-127-220-254-V-60-Hz-IC01---ODP---Com-p%3%A9s/p/14608369>. Acesso em: 08 setembro 2022.

WEG. **Motor Monofásico**. 2019. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h99/h8b/WEG-vista-explodida-do-motor-monofasico-nema-ip21-50009252-banner-portuguese-web.pdf>. Acesso em: 08 setembro 2022.

WERKEMA, Cristina. **Lean seis sigma**: introdução às ferramentas do lean manufacturing. 2. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2021. 95 p.

APÊNDICE A – Termo de autorização para pesquisa



Solicitação de Autorização para Pesquisa

Jaraguá do Sul, 11 de setembro de 2021

Eu, Gustavo Ferraz Gonçalves, responsável principal pelo projeto de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) denominado preliminarmente de "Otimização da movimentação de material na linha de montagem de rotores", do Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica do IFSC – Câmpus Jaraguá do Sul - RAU, venho pelo presente, solicitar autorização da [REDACTED] para a realização da coleta de dados em sua empresa no período de junho/2021 a junho/2022, com o objetivo de "melhorar a produtividade da linha, reduzindo gargalos e movimentos operacionais desnecessários para o processo, aplicando as ferramentas do *lean manufacturing* para resolução dos problemas". Esta pesquisa está sendo orientada pelo Prof. Cassiano Rodrigues Moura, pesquisador do IFSC.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, solicito autorização para a realizar a coleta de dados que consistirá de análise do ambiente, entrevistas individuais com funcionários e imagens através de fotos e vídeos. Saliento que as coletas serão tratadas de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o nome de um funcionário e da empresa, em qualquer fase do estudo. As imagens serão divulgadas somente nesta pesquisa e os resultados divulgados em eventos e/ou revistas científicas, tomando o cuidado de não identificar pessoa, marca ou produto da empresa.

Contando com a autorização desta instituição, agradecemos e coloco-me à disposição para qualquer esclarecimento.


Gustavo Ferraz Gonçalves, Pesquisador Principal
gustavoferrazg@hotmail.com
(47)997631068

Autorizo:


[REDACTED]