

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA - FEMEC

MATHEUS ALMEIDA RODRIGUES

Ergonomia e segurança no trabalho: Uso de ferramentas manuais de impacto em linha de montagem

Uberlândia

2025

MATHEUS ALMEIDA RODRIGUES

Ergonomia e segurança no trabalho: Uso de ferramentas manuais de impacto em linha de montagem

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia mecatrônica

Área de concentração: Ergonomia e Segurança do trabalho

Orientador: Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva

Uberlândia

2025

MATHEUS ALMEIDA RODRIGUES

Ergonomia e segurança no trabalho: Uso de ferramentas manuais de impacto em linha de
montagem

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Mecânica da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em engenharia mecatrônica

Área de concentração: Ergonomia e Segurança
do trabalho

Uberlândia, 2025

Banca Examinadora:

Leonardo Rosa Ribeiro da Silva – Doutor (UFU)

Felipe Chagas Rodrigues de Souza – Mestre (UFU)

Luciano José Arantes – Doutor (UFU)

Dedico este trabalho aos trabalhadores que são expostos a diversos riscos mas ainda se mantêm obstinados a exercer sua profissão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador, Dr. Leonardo Rosa Ribeiro da Silva, pela atenção e orientação nesta caminhada acadêmica, e também ao Ms.C. Felipe Chagas Rodrigues de Souza e ao Dr. Luciano José Arantes, obrigado por participar da banca examinadora..

Agradeço a minha família, em especial aos meus pais Cristiano e Gizele, pelo apoio e incentivo na minha jornada acadêmica, pelo aconselhamento que me motivou a alcançar meus objetivos e os meus irmãos Arthur e Heitor que foram uma das minhas maiores fontes de motivação, sempre me incentivando a enxergar a alegria nos pequenos momentos

Aos meus amigos pela ajuda e pela amizade que foram fundamentais para a conclusão do curso e deste trabalho.

Agradeço também, ao meu gestor Rodrigo Rodrigues e a equipe, que me deram suporte em todo processo de idealização, validação e implementação desse projeto.

“Vá ao gemba todos os dias. E quando for, não gaste a sola do sapato em vão. Você deve voltar com pelo menos uma noção do kaizen”. (Ohno, Taiichi)

RESUMO

O projeto de melhoria contínua visa adequar o uso de ferramentas de impacto manual, tais como martelos, marretas e macetes, em uma linha de montagem de máquinas agrícolas, substituindo-os por métodos mais ergonômicos e seguros. Com o objetivo de reduzir o risco de acidentes e melhorar as condições de trabalho para os operadores. O projeto foi iniciado por um mapeamento de todas as operações que utilizavam esse tipo de ferramenta, depois foi feita uma análise das tarefas que utilizam ferramentas de impacto manual, identificando os pontos de riscos. A partir dessa análise, são propostas as alternativas para adequação do processo de acordo com as diretrizes internas. Então, é feita a implementação das soluções ergonômicas juntamente com o teste e validação com o operador. Finalmente, é feito o treinamento para garantir o entendimento dos operadores das adequações. Foi obtida uma redução de acidentes relacionados ao uso de ferramentas manuais pesadas e a mitigação dos prejuízos relacionados. Além disso, reduz custos associados a afastamentos por acidentes de trabalho e melhora o bem-estar dos colaboradores. Assim, conclui-se que a eliminação de ferramentas de impacto manual é viável e traz significativos benefícios para a segurança e saúde ocupacional.

Palavras-chave: ergonomia, segurança do trabalho; linha de montagem; ferramenta manual; engenharia de manufatura; máquinas agrícolas; análise de riscos.

ABSTRACT

The continuous improvement project aims to adjust the use of manual impact tools, such as hammers and mallets in an agricultural machinery assembly line, replacing them with more ergonomic and safer methods. The goal is to reduce the risk of accidents and improve working conditions for the operators. The project began with mapping all operations that used these types of tools, followed by an analysis of the tasks involving manual impact tools to identify risk points. Based on this analysis, alternatives were proposed to adjust the process according to internal guidelines. Then ergonomic solutions were implemented, along with testing and validation with the operations team. Finally, training was provided to ensure operators understood the adjustments and will apply the correct method. The project achieved a reduction in risks related to the use of heavy manual tools and mitigated related losses. Additionally, it reduces costs associated with work-related absences and improves employee well-being. Therefore, it is concluded that eliminating manual impact tools is feasible and brings significant benefits to occupational safety and health.

Keywords: ergonomics, occupational safety; assembly line; manual tool; manufacturing engineering; agricultural machinery; risk analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Esquema de sistemas da colhedora de cana	13
Figura 2 -	Colheita em plantação de cana de açúcar	14
Figura 3 -	Martelo anti retrocesso ergonômico	15
Figura 4 -	Representação de uma folha de processos	17
Figura 5 -	Diagrama de Ishikawa	20
Figura 6 -	Elementos do FMEA	22
Figura 7 -	Planilha de aplicação do FMEA	23
Figura 8 -	Classificação de riscos ergonômicos segundo normas internas	26
Figura 9 -	Esquema das etapas da metodologia	30
Figura 10 -	Diagrama de Ishikawa aplicado a ferramentas não identificadas	34
Figura 11 -	Diagrama de Ishikawa aplicado a ferramentas mal dimensionadas	37
Figura 12 -	Diagrama de Ishikawa aplicado a mudança de ferramentas	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Processos classificados por complexidade	32
Tabela 2 -	Processos classificados por riscos ergonômicos	32
Tabela 3 -	Avaliação de riscos antes da identificação das ferramentas	34
Tabela 4 -	Avaliação de riscos após da identificação das ferramentas	35
Tabela 5 -	Avaliação de riscos antes mudança de ferramentas	36
Tabela 6 -	Avaliação de riscos após mudança de ferramentas	37
Tabela 7 -	Avaliação de riscos antes mudança de tecnologia	39
Tabela 8 -	Avaliação de riscos após mudança de tecnologia	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AET	Análise Ergonômica do Trabalho
EPI	Equipamento de Proteção Individual
FMEA	Failure Mode and Effects Analysis
IEA	International Ergonomics Association
MPP	Manufacturing Process Planner
NR	Norma regulamentadora
OMS	Operator Method Sheet
RPN	Risk Priority Number

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos.....	12
1.2 A colhedora de cana	12
1.3 O ferramental na linha de montagem	14
1.4 Engenharia de manufatura.....	15
1.5 Sistemas de processo	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Qualidade.....	18
2.1.1 Melhoria contínua na indústria.....	18
2.1.2 Análise de causa por diagrama de Ishikawa.....	19
2.1.3 Análise dos Modos e Efeitos de Falhas	20
2.2 Ergonomia e Segurança do Trabalho.....	23
2.2.1 Legislação	24
2.2.2 Concepção monocausal de acidente de trabalho	26
2.2.3 Concepção multicausal de acidente de trabalho.....	27
3 METODOLOGIA.....	29
3.1 Mapeamento dos processos	31
3.2 Adequação do método	33
3.2.1 Ferramentas não identificadas	33
3.2.2 Ferramentas mal dimensionadas.....	36
3.2.3 Mudança de tecnologia	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5 CONCLUSÃO.....	42

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivos

O objetivo geral do estudo é ressaltar a importância da ergonomia e segurança do trabalho em um ambiente industrial, enfatizando a viabilidade e impactos, junto a melhoria contínua, na eficiência operacional, na qualidade do produto, na prevenção de acidentes e na melhoria das condições de trabalho dos colaboradores. Além disso, busca-se fazer um retrospecto sobre as concepções de acidentes, ou seja, a forma como se dá o entendimento acerca do que seja um acidente e dos fatores relacionados com sua origem, confrontando a abordagem tradicional da segurança do trabalho.

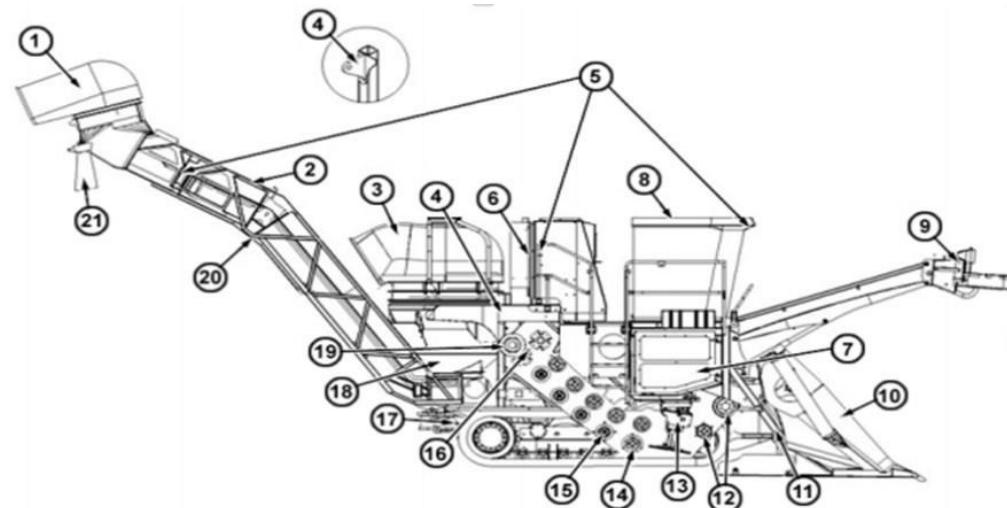
Mais especificamente, busca-se identificar os principais riscos ergonômicos e de segurança presentes no ambiente industrial que estejam relacionados ao uso de ferramentas manuais de impacto, investigando suas possíveis causas a fim de encontrar a causa raiz desse uso no processo produtivo. Ademais, pretende-se analisar de que maneira é possível fazer a adequação das condições da utilização desse ferramental sem que haja impactos na produtividade, bem como a exploração e desenvolvimento de tecnologias e métodos para promover um ambiente mais seguro e ao mesmo tempo, possuir uma implementação com custos sustentáveis mantendo-se alinhado às definições de eficiência do negócio.

Outro ponto importante, é a investigação da eficácia das normas e regulamentações de segurança do trabalho e como se dá a sua aplicação, na mitigação de acidentes e doenças ocupacionais e entender as possíveis consequências para a saúde dos trabalhadores, e por fim, busca-se propor uma mudança cultural acerca de como o uso de certas ferramentas impactam nas condições de trabalho, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias eficientes e funcionais.

1.2 A colhedora de cana

No Brasil, o setor sucroalcooleiro ocupa uma posição de destaque para a economia nacional, envolvendo a produção de cana-de-açúcar, utilizada tanto para a fabricação de açúcar quanto para a produção de etanol, biocombustível renovável amplamente consumido no país. Dessa forma, a produção de maquinários que permitem mecanização da colheita foi amplamente impulsionada devido a proibição da queima da palha da cana em diversas regiões, aumento de produtividade e escassez de mão de obra.

A colhedora de cana é um maquinário complexo, pois além dos sistemas de motor e arrefecimento, sistemas elétricos e de controle, que são comuns à máquinas agrícolas em geral, ela também possui diversos sistemas fundamentais para os vários processos da colheita da cana, dentre eles: o corte de pontas, o corte de base, fracionamento, limpeza e transporte. A figura 01 esquematiza as principais partes da máquina, e por meio de uma breve descrição do processo de colheita, pode-se compreender melhor sistematicamente a mecânica e o funcionamento da máquina, permitindo o entendimento das análises que serão feitas acerca das melhorias feitas no sistema produtivo do produto em questão.



1— Extrator Secundário	7— Compartimento do Motor	13— Cortador de Base	19— Volante do Picador
2— Elevador	8— Cabine	14— Rolo Levantador	20— Proteção da Carreta
3— Extrator Primário	9— Cortador de Pontas	15— Rolos de Alimentação	21— Aba da Cesta
4— Aleta de Levantamento	10— Divisores/Rolos de Linhas	16— Caixa do Picador	
5— Luzes (3 áreas)	11— Orifício de Amarração (Transporte)	17— Ganchos de Reboque	
6— Tela de Admissão de Ar	12— Rolo Tombador (2)	18— Cesto	

Figura 1: Esquema de sistemas da colhedora de cana

Fonte: Fischer, 2024

Na primeira etapa é o corte do das folhagens verde, conhecida como ponteira, que é realizada pelo sistema cortador de pontas. Como mostrado na figura 02, a plantação de cana de açúcar é feita em fileiras, assim o sistema de divisor de linhas é responsável pela separação por fileira e realiza a admissão das canas. Então, o rolo tombador faz a derrubada da planta para que o cortador de base faça a colheita, permitindo a formação da soqueira, que é o conjunto de brotos ou rebrotas que surgem da base do caule da cana-de-açúcar após a colheita.

Na segunda etapa, o rolo levantador direciona a cana já cortada para um sistema de rolos transportadores que a transportam para a caixa do picador, onde ela é fracionada por um

conjunto de lâminas. A seguir, a cana picada passa pelo extrator primário onde é feita a primeira separação da cana e da palha, então um conjunto de pás faz o transporte pelo elevador até o extrator secundário onde é realizada a segunda limpeza e finalmente a cana já pode ser depositada no veículo de transporte.



Figura 2: Colheita em plantação de cana de açúcar

Fonte: <https://jornalcana.com.br/mercado/usinas/gestores-apostam-em-tecnicas-para-colher-com-mais-qualidade/>

1.3 O ferramental na linha de montagem

Na unidade em que foi estudado esse projeto, a fabricação da colhedora de cana é dividida em 4 setores: o setor de Primários realiza os processos de corte e dobra das chapas metálicas produzindo as peças mais simples; A Soldagem produz os conjuntos soldados dando origem a peças mais complexas; O setor de Pintura faz o tratamento superficial e pintura e a Montagem finaliza a construção da máquina a partir da união de todas as peças. É neste último que se deu o desenvolvimento do projeto devido ao uso indiscriminado de martelos e marretas, amplificando as fontes de riscos ergonômicos e de possíveis acidentes.

Historicamente, o uso de ferramentas de impacto, remonta à pré-história, quando os primeiros seres humanos utilizavam pedras para quebrar objetos, esculpir materiais e caçar. Ao longo do tempo, esses instrumentos foram aprimorados com a fixação de cabeças de pedra ou metal em cabos de madeira, aumentando sua eficiência e controle. Hoje, dada a

simplicidade e versatilidade, essas ferramentas continuam sendo amplamente utilizadas tanto no uso doméstico quanto na indústria, possuindo diferentes composições, tamanhos e formatos se tornaram essenciais para diversas atividades, dentro da linha de montagem por exemplo, é usado em montagem de pinos, alinhamento de furações, posicionamento de peças, dentre outros, sendo um desafio fazer a substituição dessa metodologia.

O modelo utilizado na planta é martelo anti retrocesso, com corpo em aço especial com acabamento em pintura, cabeça intercambiável em poliamida com dureza de 75 Shore D, submetida à testes em temperatura de - 20º C, cabo em aço com acabamento em pintura, e empunhadura ergonômica em polímero na cor preta. Possuindo em 3 dimensões diferentes:

- Batente: 30 mm - Tamanho: 290 mm - Massa: 0,600 kg
- Batente: 40 mm - Tamanho: 300 mm - Massa: 0,800 kg
- Batente: 50 mm - Tamanho: 310 mm - Massa: 1,005 kg



Figura 3: Martelo anti retrocesso ergonômico

Fonte: Catálogo GEDORE

1.4 Engenharia de manufatura

O setor de engenharia de manufatura em uma indústria de fabricação de máquinas agrícolas é definido como dono do processo, e responsável por planejar, desenvolver, otimizar e supervisionar os processos produtivos que transformam matérias-primas desde componentes até equipamentos agrícolas completos. Tal setor atua na interface entre o projeto do produto e a linha de produção, garantindo que o produto seja fabricável de forma eficiente, segura, econômica e com qualidade, atuando em:

- Desenvolvimento de processos de fabricação, como soldagem, usinagem, montagem e pintura.

- Planejamento de layout industrial e definição de fluxos produtivos.
- Escolha e padronização de ferramentas, máquinas e dispositivos utilizados na produção.
- Implementação de tecnologias de automação e controle de qualidade.
- Análise de custos, tempo de ciclo e produtividade.
- Aplicação de conceitos de manufatura enxuta e melhoria contínua.

Este projeto foi idealizado como uma aplicação dos conceitos de melhoria contínua, ergonomia e segurança do trabalho pelo setor de engenharia de manufatura da fábrica de colhedoras de cana.

1.5 Sistemas de processo

Na manufatura das máquinas, o conceito de controle de processos é fundamental para garantir eficiência e qualidade, para isso é utilizado diversos sistemas com sua determinada função. Sendo um deles, o programa planejador de processos de manufatura que possui um complexo sistema que agrupa uma gama de informações relativas ao processo produtivo, tal como a sequência de eventos para a montagem, descrição das peças que serão usadas, as ferramentas e dispositivos utilizados para movimentação, içamento, manuseio e montagem de itens, registros de torques e tolerância, o tempo calculado para as atividades e a folha de processo do operador.

A folha de processo do operador além de possuir a sequência de eventos também possui indicações visuais sobre o procedimento, onde o conjunto de peças é montado, todo o ferramental necessário para a montagem, além de informações necessárias para a montagem correta. Esse item é visto como a definição do processo normal de operação, sendo de suma importância na manutenção do processo frente a atualizações no produto ou melhorias no próprio método de fabricação, a fim de garantir plenamente a comunicação das alterações à equipe operacional, conforme exemplificado na imagem xx, que representa um modelo de OMS genérica.

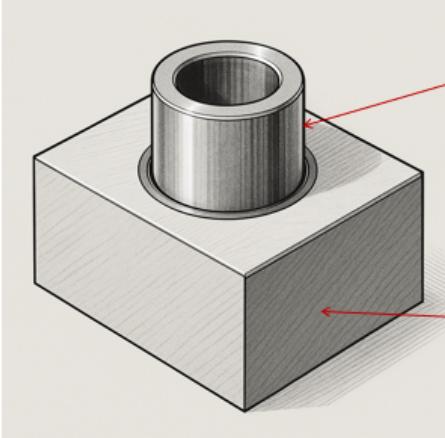
EMPRESA	Descrição detalhada da operação que será realizada, de forma objetiva e clara, formalizando um passo a passo para o operador, referenciando as peças, ferramentas e dispositivos auxiliares para uso na montagem.	AUTOR	SETOR								
		DATA	ESTAÇÃO								
	<table border="1"><tr><td>BXG45210</td><td>1</td></tr><tr><td colspan="2">Bucha 1'</td></tr></table> <table border="1"><tr><td>CÓDIGO</td><td>Nº</td></tr><tr><td colspan="2">Peça</td></tr></table>	BXG45210	1	Bucha 1'		CÓDIGO	Nº	Peça		 Utilizar ferramenta MTL36731 conforme imagem	
BXG45210	1										
Bucha 1'											
CÓDIGO	Nº										
Peça											
		Notas do processo									

Figura 4: Representação de uma folha de processos

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Qualidade

A busca pela qualidade sempre foi intrínseca a humanidade estando relacionado a conceitos de conforto, de satisfação e de excelência, para Morais, no entanto, atualmente, os consumidores se afastaram do meio de produção com pouca possibilidade de influenciar diretamente grande parte dos produtos que consome, aumentando a complexidade de definir e alcançar a qualidade. Devido a competitividade do mercado, a qualidade além de ser um fator determinante para sustentabilidade do negócio, foi estudada e aprimorada por diversos estudiosos, contribuindo para a gestão da qualidade definido princípios, processos e ferramentas para mensurá-la e alcançá-la.

2.1.1 Melhoria contínua na indústria

William Deming foi um importante promotor da cultura da qualidade, exercendo um papel crucial na popularização do controle de qualidade no Japão. Ele define 14 princípios a fim de guiar as organizações a adotarem essa filosofia de gestão direcionada na melhoria contínua da qualidade, na eficiência dos processos e no engajamento dos colaboradores, independente da posição, sendo elas:

- 1) Criar uma constância de propósitos de melhorar produtos e serviços.
- 2) Adotar uma nova filosofia. É momento de iniciar um movimento por mudanças, de despertar para o desafio, de assumir a liderança em direção à transformação.
- 3) Eliminar a necessidade de inspeção em massa, priorizando a internalização da qualidade do produto. A qualidade não se origina da inspeção, mas do melhoramento do processo.
- 4) Acabar com o sistema de compras baseado apenas no preço. Minimizar o custo total por meio de relacionamentos duradouros, calçados na qualidade e na confiança com um único fornecedor para cada item.
- 5) Melhorar constantemente o sistema de planejamento, produção e serviços.
- 6) Implantar métodos de treinamento no local de trabalho.

7) Reformular métodos de supervisão; instituir a liderança com o objetivo de ajudar as pessoas a realizar um trabalho melhor.

8) Eliminar o medo da organização.

9) Romper as barreiras entre os departamentos.

10) Eliminar slogans, exortações e metas para a mão-de-obra que não ofereçam meios para alcançá-las.

11) Eliminar os padrões de trabalho e cotas numéricas.

12) Romper as barreiras que privam o empregado de ter orgulho do seu trabalho.

13) Estabelecer um programa rigoroso de educação e auto-aperfeiçoamento para todo o pessoal.

14) Criar uma estrutura na alta administração que tenha como função implantar os 13 pontos anteriores. A transformação é tarefa de todos.

Assim sendo, os princípios apresentados influenciaram a cultura de diversas organizações ao redor do mundo e estão presentes até hoje, propiciando a valorização da melhoria contínua resultando na produção de projetos como esses que buscam que as mudanças sejam implementadas, avaliadas e ajustadas constantemente.

2.1.2 Análise de causa por diagrama de Ishikawa

Kaoru Ishikawa foi um engenheiro químico e estatístico japonês que se destacou pela disseminação do conceito de controle da qualidade total no Japão, uma de suas principais contribuições foi o Diagrama causa e efeito ou espinha de peixe a fim auxiliar na identificação das causas raízes de problemas, organizando-as em categorias:

- **Método:** Relacionado ao processo de como o trabalho é realizado;
- **Máquina:** Relacionado ao mau funcionamento ou inadequação das máquinas e ferramentas;
- **Material:** Relacionadas à qualidade ou disponibilidade dos materiais e insumos utilizados;
- **Mão de obra:** relacionadas à capacitação e desempenho dos trabalhadores;

- **Meio ambiente:** Relacionado a causas externas que podem impactar o processo, tal como ambiente e condições de trabalho;
- **Medição:** Relacionadas à coleta e análise dos dados e outras falhas em métricas e controles.

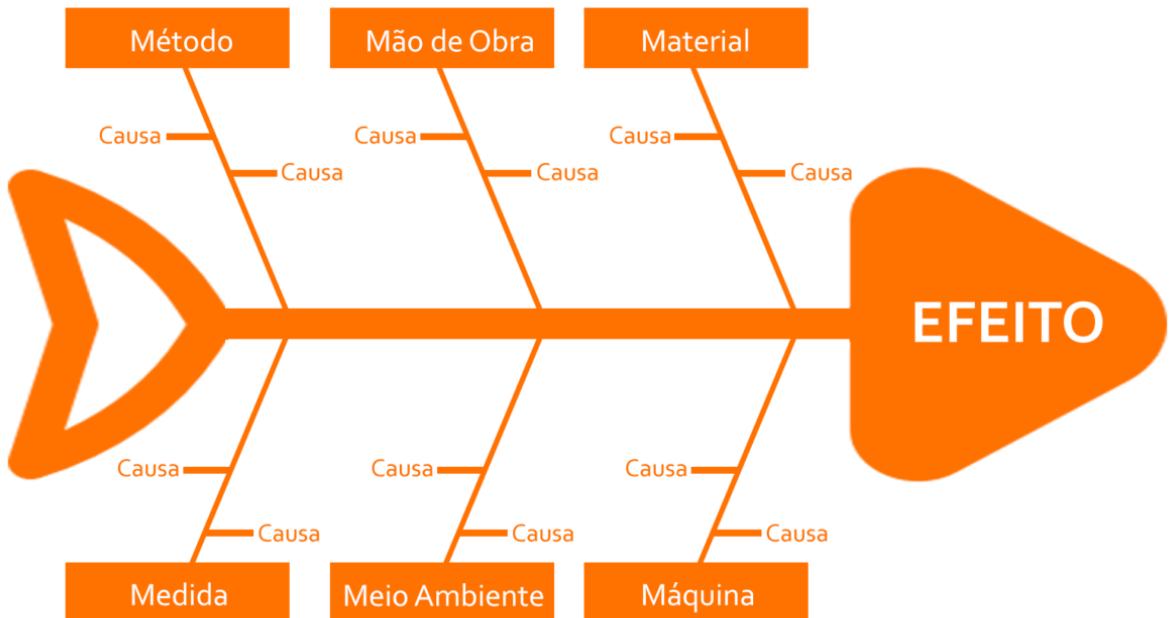


Figura 5: Diagrama de Ishikawa

Fonte: Oliveira, 2024

Dessa forma, segundo Campos, o Diagrama de Ishikawa é usado para identificar causas raiz de problemas ou ineficiências dentro de um processo. Além disso, pelo fato de relacionar o método, mão de obra e máquina, ele consegue justificar a necessidade ou a impossibilidade de alteração dos processos para a adequação de ferramentas, garantindo que os recursos sejam utilizados de maneira eficiente para alcançar determinado efeito.

2.1.3 Análise dos Modos e Efeitos de Falhas

Análise dos Modos e Efeitos de Falhas, ou Failure Mode and Effect Analysis - FMEA, é um método muito utilizado industrialmente para antecipar falhas do produto e do seu processo de fabricação. O FMEA é uma técnica de engenharia utilizada na identificação dos modos de falhas potenciais, seus efeitos e causas, avaliar o risco de cada modo de falha e definir as ações para evitar a ocorrência das falhas.

Não há consenso sobre a origem do FMEA, para Pentti e Atte, o método foi desenvolvido pelo Exército dos Estados Unidos e documentado pela primeira vez em 1949, no procedimento MIL-P-1629. Tal procedimento embasou a elaboração de normas militares, como a MIL-STD-1629 e MIL-STD-1629A que são utilizadas até hoje. Em contrapartida, outros autores como Bertsche, afirmam que estudos feitos pela NASA são os responsáveis pela definição do FMEA, durante o desenvolvimento do projeto Apollo em 1963. Desde então, esse método se popularizou em diversos ramos da indústria, como automobilístico, aeronáutico, médico, químico e muitos outros, além disso, Stamatis (2003) define os tipos de FMEA baseado na forma que são usados:

- **FMEA de Sistema (System FMEA):** aplicado na fase inicial do desenvolvimento de conceitos e projetos, tem como objetivo a análise de sistemas e subsistemas, com foco na identificação de modos de falha potenciais decorrentes de deficiências nas funções ou na estrutura do sistema.
- **FMEA de Produto (Design FMEA – DFMEA):** utilizado para examinar produtos antes de sua liberação para a etapa de fabricação. Este tipo de FMEA concentra-se nos modos de falha originados por inadequações no projeto do produto.
- **FMEA de Processo (Process FMEA – PFMEA):** empregado na análise de processos de fabricação e montagem, visando identificar possíveis falhas relacionadas à execução desses processos.
- **FMEA de Serviço (Service FMEA):** destinado à análise de serviços antes de sua disponibilização ao consumidor, com ênfase na identificação de falhas associadas a tarefas, erros ou enganos, geralmente resultantes de deficiências nos sistemas ou nos processos envolvidos.

De acordo com Palady (2004), o FMEA é estruturado em cinco elementos básicos, conforme exemplificado na Figura xx, para utilizar a ferramenta deve ser seguidos os seguintes passos:



Figura 06: Elementos do FMEA

Em primeiro lugar, deve-se selecionar o projeto de FMEA com o maior potencial de retorno de qualidade e confiabilidade para a organização e seus clientes no planejamento do FMEA. O segundo elemento consiste em identificar os modos de falha, causa e efeito, para isso deve-se encontrar respostas dos seguintes questionamentos: “como pode falhar?”, “por que falha?” e “o que acontece quando falha?”.

Então, deve-se determinar o RPN, Risk Priority Number, que é um indicador numérico utilizado para priorizar modos de falha com base em três critérios: severidade, ocorrência e detecção. Para isso, é necessário quantificar e classificar cada uma das três categorias, avaliando a sua criticidade numericamente de 1 a 10, então o produto dos três fatores, ocorrência, severidade e detecção, definem o RPN, de 0 a 1000, assim as causas das falhas são podem ser quantificadas, comparadas e ranqueadas, direcionando a tomada de decisões.

O quarto elemento refere-se à interpretação, sendo responsável por priorizar ou selecionar os modos de falha potenciais que devem ser tratados inicialmente. O último elemento envolve o acompanhamento das ações necessárias, normalmente em conjunto com outros métodos que contribuam para a garantia da qualidade e da confiabilidade.

Etapas do Processo	Modo de Falha	Causas de Falha	Efeitos de Falha	Probabilidade de Ocorrência (1-10)	Probabilidade de Detecção (1-10)	Gravidade (1-10)	Número de Prioridade de Risco (NPR)	Ações para Reduzir a Ocorrência de Falhas
1								
2								
3								

Figura 7: Planilha de aplicação do FMEA

Fonte: <https://www.ihi.org/pt-br/resources/tools/failure-modes-and-effects-analysis-fmea-tool>

Portanto, essa ferramenta é amplamente utilizada na avaliação de riscos pela forma que faz a quantificação de forma numérica do risco associado ao modo de falha. Como citado, esse método já tem suas aplicações em processos e pode ser usado na identificação de modos de falhas para a análise de riscos de acidentes.

2.2 Ergonomia e Segurança do Trabalho

As aplicações da ergonomia remontam à Antiguidade, quando já se observavam tentativas de adaptar ferramentas e equipamentos às capacidades humanas, embora de maneira empírica. O termo "ergonomia" foi usado pela primeira vez em 1857 pelo polonês Wojciech Jastrzebowski, no artigo "Ensaios de ergonomia ou ciência do trabalho, baseada nas leis objetivas da ciência sobre a natureza". No entanto, o desenvolvimento sistemático da ergonomia como ciência ocorreu apenas no século XX, durante a segunda guerra mundial, se iniciaram as primeiras tentativas sistemáticas de adaptar máquinas e equipamentos ao corpo humano, para reduzir erros e aumentar a eficiência dos soldados. (Abrahão, 2009)

Conceitualmente, a ergonomia é a ciência que estuda a interação entre as pessoas e os componentes dos seus sistemas de trabalho, com o objetivo de melhorar a vida humana e o desempenho global do sistema, como definido pela IEA. Centra-se na adaptação de métodos, ferramentas e técnicas de trabalho às forças e limitações dos trabalhadores, com o objetivo de prevenir acidentes, doenças profissionais e melhorar a eficiência e a produtividade. A sua importância está relacionada à saúde, segurança e conforto dos trabalhadores, impactando principalmente ao longo do tempo, reduz o esforço corporal, a má postura e os movimentos repetitivos, reduzindo o risco de lesões minimizando diversos tipos de lesões.

A segurança do trabalho também possui uma história longa e evolutiva, que acompanha o desenvolvimento das sociedades e as transformações nas condições de trabalho

ao longo do tempo. Para Peixoto, a Segurança do Trabalho pode ser entendida como o conjunto de medidas adotadas, visando minimizar os acidentes de trabalho, doenças ocupacionais, bem como proteger a integridade e a capacidade de trabalho das pessoas envolvidas. No Brasil, a história da segurança do trabalho começa em 1919, quando surgiu a Lei nº 3724 com as primeiras regulamentações sobre acidentes de trabalho no país. As primeiras normas regulamentadoras (NRs) foram criadas em 1977 pela Lei nº 6.514, com intuito de regulamentar os procedimentos obrigatórios relacionados à segurança e saúde do trabalhador. Essas normas também fornecem orientações aos empregadores e empregados quanto às especificações de segurança quanto a operacionalização de equipamentos e uso de ferramentas seguras.

2.2.1 Legislação

A norma regulamentadora NR-12 trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos sendo seu objetivo principal garantir que as máquinas sejam projetadas, instaladas, operadas e mantidas de maneira segura, protegendo a integridade física dos trabalhadores e prevenindo acidentes e doenças ocupacionais. Além disso, ela aborda a necessidade de realizar uma análise de risco para cada máquina, considerando os perigos envolvidos em sua operação, manutenção e limpeza. Ela também determina que os empregadores devem manter documentação técnica atualizada, manuais de operação, registros de manutenção e garantir o uso de equipamentos de proteção individual (EPI) sempre que necessário. Sendo responsável por definir:

...referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas.

(BRASIL, 2019, p. 02)

No entanto, essa norma não se aplica ao tipo de ferramentas manuais como macetes, marretas, martelos e ferramentas afins, pois:

“...Esta NR não se aplica:

a) às máquinas e equipamentos movidos ou impulsionados por força humana ou animal...” (BRASIL, 2019, p. 02)

Em consonância a isso, a norma regulamentadora nº 17 que aborda a ergonomia com o objetivo de adaptar as condições de trabalho às características físicas e psicológicas dos trabalhadores, buscando conforto, segurança e desempenho eficiente. Tal norma considera que o ambiente laboral, os equipamentos, os métodos e a organização do trabalho devem estar ajustados às necessidades humanas para prevenir doenças ocupacionais.

Ela propõe que medidas de prevenção devem ser adotadas com base na Análise Ergonômica do Trabalho - AET, garantindo que os trabalhadores não estejam submetidos continuamente a condições prejudiciais, incluindo evitar posturas prejudiciais do tronco, pescoço, cabeça e membros, minimizar movimentos bruscos de impacto nos membros superiores, reduzir o uso de força muscular, principalmente em posições extremas e controlar a frequência de movimentos dos membros a fim de preservar a saúde e segurança. No entanto, acerca do uso de ferramentas manuais é dito apenas que devem atender aos seguintes aspectos:

- “a) facilidade de uso e manuseio;
- e b) evitar a compressão da palma da mão ou de um ou mais dedos em arestas ou quinas vivas.” (BRASIL, 2020, p. 07)

Dessa forma, pode-se afirmar que embora a legislação brasileira reconheça os riscos associados ao uso de ferramentas manuais e obriga as empresas a adotarem medidas preventivas, é observado que as normativas são genéricas e pouco descritivas, deixando que esse tema seja interpretado de acordo com política interna das empresas. Com isso em questão, pode-se relacionar isso as duas grandes vertentes na interpretação dos acidentes relativos ao trabalho, uma considerada monocausal, em que a causa do acidente é exclusiva ao trabalhador, enquanto a outra, chamada de multicausal, leva em consideração diversos aspectos em consideração, tais como o ambiente, máquinas e métodos.

Para o caso em questão foi utilizada a normativa interna como base para definir o nível de risco da utilização de martelos e marretas, com base na frequência de utilização e da massa total da ferramenta, como mostrado na figura 8. Cada uma das cores representa uma classificação ergonômica e determinada condição de trabalho, para cada uma há uma diretriz para uma ação correspondente que estão descritas como:

Verde: Condição-alvo: a força de trabalho está segura. Nenhuma ação é necessária.

Amarelo: Aceitável condicionalmente. Outras análises devem ser concluídas com implementação de ações conforme apropriado.

Vermelho: Ações devem ser implementadas e, posteriormente, a tarefa deve ser reavaliada.

Preto: É necessário um plano de mitigação de riscos, além de análise periódica por parte da liderança.

Para cada nível de risco foi considerada uma ação a ser trabalhada no processo, direcionando os processos que seriam investigados no projeto. Além disso, todos os processos estão sujeitos a outra avaliação, sendo levada outros fatores em consideração, mesmo casos que se enquadram em determinadas classificações de baixo risco, podem ser alterados para obter uma classificação de risco maior e uma ação preemptiva.

FREQUÊNCIA FERRAMENTA	0 A 2 BATIDAS POR HORA	2 A 10 BATIDAS POR HORA	10 A 20 BATIDAS POR HORA	20 A 40 BATIDAS POR HORA	40 A 60 BATIDAS POR HORA	60 A 120 BATIDAS POR HORA
MARTELO (ATÉ 250 G)	VERDE	AMARELO	AMARELO	VERMELHO	VERMELHO	PRETO
MARTELO (ATÉ 1 KG)	AMARELO	AMARELO	VERMELHO	VERMELHO	PRETO	PRETO
SEM FERRAMENTA (USANDO A MÃO)	AMARELO	AMARELO	VERMELHO	VERMELHO	PRETO	PRETO

Figura 8: Classificação de riscos ergonômicos segundo normas internas

2.2.2 Concepção monocausal de acidente de trabalho

Herbert William Heinrich foi um engenheiro e pesquisador norte-americano, considerado um dos pioneiros da prevenção de acidentes apresentando sua concepção sobre os acidentes de trabalho, ele apresenta a Teoria dos 88%, é um dos pilares de sua obra sobre prevenção de acidentes de trabalho. Baseado na análise estatística de milhares de relatórios de acidentes ocorridos em empresas industriais nos Estados Unidos, principalmente nas décadas de 1920 e 1930.

Segundo Heinrich, 88% dos acidentes de trabalho são causados por atos inseguros dos próprios trabalhadores, ou seja, comportamentos inadequados ou imprudentes durante a

execução de suas tarefas. Outros 10% seriam provocados por condições inseguras do ambiente ou dos equipamentos e 2% restantes seriam atribuídos a causas inevitáveis ou imprevisíveis, como desastres naturais.

Essa divisão teve grande influência na forma como era pensado a segurança do trabalho, trazendo a ideia de que a maior parte dos acidentes é resultado do comportamento dos trabalhadores, um pensamento que perdura até a atualidade. Essa concepção monocausal dos acidentes de trabalho é uma visão que simplifica todos os fatores externos ao trabalhador, sendo usada de forma tendenciosa para atribuir a culpa ao operário, retirando a responsabilidade da empresa sobre o acidente. Contudo, essa teoria vem sendo analisada e crescem as críticas ao longo do tempo, já que novos estudos entendem que ela foca excessivamente no indivíduo e minimiza os fatores organizacionais e sistêmicos.

2.2.3 Concepção multicausal de acidente de trabalho

Em contrapartida, a concepção de Yves Llory sobre segurança do trabalho representa uma mudança de paradigma em relação às abordagens tradicionais, como a de Heinrich. Llory é um pesquisador francês da área de confiabilidade organizacional e análise de acidentes, e sua visão está profundamente ligada à complexidade dos sistemas modernos.

Para Llory, os acidentes não são causados exclusivamente por erros humanos ou falhas isoladas, mas que há interações complexas entre pessoas, tecnologias, procedimentos e decisões organizacionais, criticando a tendência em culpar o trabalhador pelo acidente e propondo uma investigação profunda sobre o contexto em que o erro ocorreu, a fim de entender os fatores que levaram àquele resultado dentro das condições reais de trabalho.

Nesse sentido, o trabalho real se difere do trabalho prescrito, ou seja, aquilo que está descrito nas normas ou procedimentos não necessariamente reflete o que acontece na prática do trabalho. Isso se deve ao fato que os trabalhadores constantemente precisam se adaptar às situações inesperadas, às pressões de tempo, aos recursos disponíveis e a outras variáveis desconhecidas. Sendo assim, tem-se a ideia de que a segurança é construída cotidianamente pelas adaptações e decisões que os trabalhadores tomam para manter o sistema funcionando.

Portanto, é proposto que os acidentes sejam analisados não com o objetivo de atribuir culpa, mas para compreender os mecanismos organizacionais que favoreceram aquele

desfecho. Tal abordagem se alinha com os princípios de ergonomia da atividade que olham para a segurança como um produto da interação contínua entre múltiplos fatores e não como uma responsabilidade isolada do trabalhador. Assim sendo, tal concepção conjuntura a aplicação desse projeto em que há a busca por compreender como o trabalhador interage com esse tipo de ferramenta, métodos e ambientes de trabalho, de forma a trazer adaptações que permitam um trabalho mais seguro e ergonômico.

3 METODOLOGIA

o projeto teve o foco na identificação e prevenção de riscos em atividades operacionais relacionados ao uso de martelos e macetes, utilizando como ferramentas principais a metodologia FMEA e o Diagrama de Ishikawa para análise estruturada das causas potenciais de falhas e da avaliação dos riscos envolvidos nas tarefas críticas do ambiente de produção.

Inicialmente, concebido como um projeto de melhoria contínua na área de segurança do trabalho e ergonomia, ele foi idealizado pelo setor de engenharia de manufatura a fim de reduzir os riscos ergonômicos, reduzir o índice de acidentes relacionados a martelos e marretas, entrando em conformidade com as diretrizes internas. Então, na etapa de planejamento, foi escolhido o responsável e a equipe de projeto, que trabalham diretamente nessa atividade, as áreas de apoio que prestaram algum suporte quando necessário, tal como engenharia de qualidade e setor de segurança do trabalho. Além disso, foi definido o valor inicial de investimento no projeto e organizado o cronograma de entregas.

A próxima etapa do projeto consistiu no mapeamento completo das atividades operacionais que requisitam o uso desse ferramental, por meio do uso do sistema MPP. Com isso, foi possível levantar as atividades desempenhadas pelos colaboradores de acordo com o processo padrão, no entanto era necessário fazer uma verificação do cenário real do processo. Com o mapeamento concluído, é necessário fazer uma análise mais aprofundada e técnica, classificando mediante a complexidade e o risco, então foram selecionados três grupos de operações semelhantes para serem detalhados, sendo que cada um apresentava potencial de risco moderado, grande volume de atividades semelhantes e pequena complexidade operacional.

A partir daí, a metodologia FMEA foi aplicada para avaliar os riscos com base em 3 elementos: severidade, ocorrência e detecção, definindo o índice numérico, RPN. Em seguida, foi realizada uma investigação detalhada dos possíveis desvios e falhas nessas atividades, empregando o Diagrama de Ishikawa para estruturar as possíveis causas das situações de risco, considerando categorias como método, mão de obra, máquinas, materiais, meio ambiente e medidas. O intuito dessa abordagem é permitir que a compreensão de como os acidentes poderiam ocorrer e quais fatores sistêmicos favorecem sua ocorrência, seguindo a concepção de acidente de trabalho multicausal.

Com base nessa análise, foi elaborada a proposta de um novo método de execução para cada uma das atividades, buscando eliminar ou adequar o uso dessas ferramentas, tornando o processo mais seguro e eficiente. Com a proposta validada, se inicia o projeto e confecção da tecnologia para a substituição, nos casos que não é necessário, prosseguirá para a próxima etapa. Por fim, o projeto entrou na fase de implementação e validação do novo método, que incluiu testes práticos com os trabalhadores, observação técnica, coleta de feedbacks, ajustes finais e o treinamento dos operadores. Essa etapa é fundamental para garantir que as mudanças implementadas de fato se traduzam em melhorias concretas na segurança, na qualidade e na produtividade, sem comprometer o desempenho operacional.

Dado a natureza da ergonomia ter efeitos a longo prazo, não seria possível fazer a avaliação dos efeitos ergonômicos dessa mudança, assim sendo, nessa questão será suficiente avaliar de acordo com a normativa interna, considerando os fatores de frequência de uso e massa da ferramenta, também será feita a comparação entre o nível de risco obtido pelo método FMEA antes e depois da implementação, verificando o impactos das alterações nos níveis de risco.

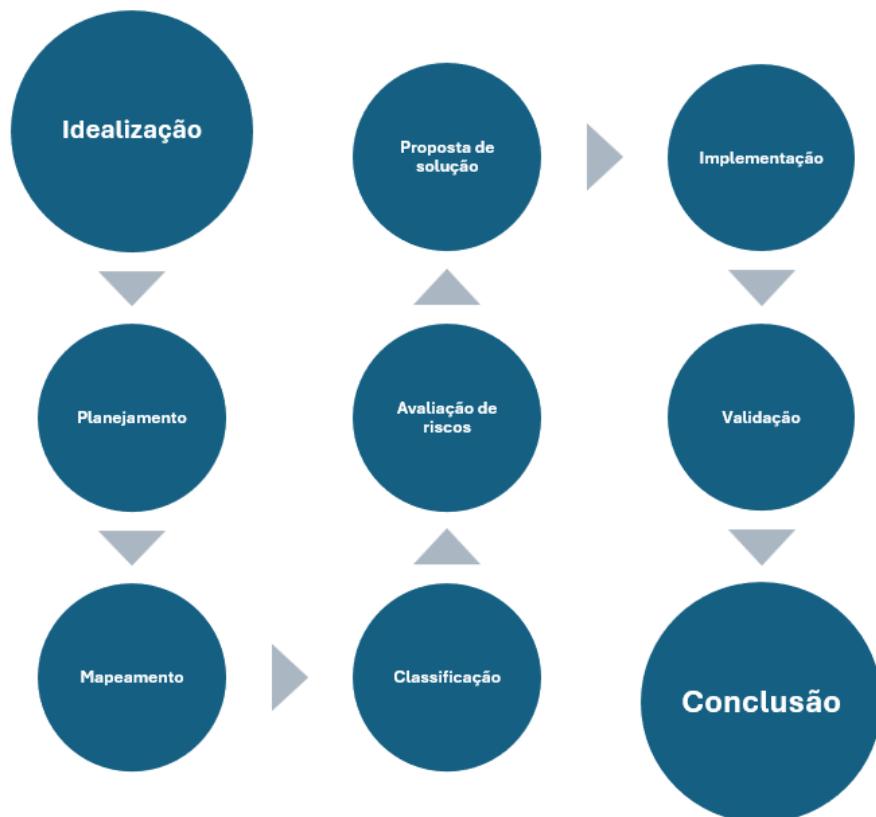


Figura 9: Esquema das etapas da metodologia

3.1 Mapeamento dos processos

Inicialmente, mesmo que soubesse algumas atividades que utilizavam os macetes devido aos incidentes relacionados a segurança. Foi planejado um mapeamento mais rigoroso contemplando não apenas as atividades que previam o uso dessas ferramentas, bem como processos em que elas eram usadas de forma indevida. Dessa forma, a primeira etapa consistiu em, por meio da plataforma MPP, pesquisar por todos processos que constavam o uso do ferramental, e então extrair a folha de processos (OMS) para sua identificação visual, bem como sequência de eventos e peças relacionadas. Após essa primeira etapa, foram identificados 195 processos que previam o uso da ferramenta.

Depois disso, foi feita uma verificação local em cada estação de trabalho, identificando as características do ferramental, para qual montagem era utilizado e se havia outras demandas desse tipo de ferramental que não estava descrito no método de montagem, assim seria possível identificar com maior precisão todos os usos mesmo os não previstos no sistema. Foi utilizado o procedimento de perguntas mostrado para padronização e checagem dos dados:

1. Há o uso de ferramentas de impacto tal como marretas, martelos ou macetes?
2. A ferramenta está com marcação de identificação correta?
3. A ferramenta está descrita no processo corretamente?
4. É feito o uso dessa ferramenta em atividade não descrita no método?
5. É feito o uso de ferramenta análoga em algum processo?
6. Existe alguma ferramenta análoga descrita no processo que não está em uso?
7. Quais são as especificações de material, massa e dimensões?
8. Em quais processos são utilizadas as ferramentas? Anexar OMS relativa.

Após isso, foi possível verificar que realmente havia uma discrepância entre o que foi previsto no método e o que acontecia no processo real. Com base nas novas informações, o mapeamento foi atualizado contemplando o cenário atual, aumentando o número para 243 atividades. Então, foi feita uma análise técnica, atividade por atividade, avaliando previamente a complexidade e a familiaridade dentre as tecnologias e métodos para adequação, com o auxílio de um engenheiro de manufatura com experiência em relação ao processo e ao produto,

como a tabela 1. Junto a isso, foi realizada a classificação em relação a faixa de risco baseada na massa da ferramenta e frequência de uso, separando-as nas quatro categorias representadas pelas cores como na tabela 2.

A tabela 1 apresenta a relação de quantidade de processos por classe de complexidade.

Tabela 1 – Processos classificados por complexidade

Classificação por complexidade	Quantidade de processos
Pequenas correções	15
Alteração da ferramenta	72
Alteração de tecnologia	93
Correção sistêmica	27
Alta complexidade	36
Total	243

A tabela 2 apresenta a relação de quantidade de processos por classificação de riscos.

Tabela 2 – Processos classificados por riscos ergonômicos

Classificação de riscos	Quantidade de processos
Verde	12
Amarelo	114

Vermelho	115
Preto	2
Total	243

1. 3.2 Adequação do método

Iniciando pela categoria de menor complexidade, foi realizada a avaliação de risco utilizando a ferramenta FMEA analisando cada situação separadamente, por meio da observação do operador realizando a atividade cotidianamente, então seguindo com essa ferramenta, foram definidos os eventos indesejados e o nível de risco. No entanto, para implementação das ações de prevenção, foi feito um agrupamento de soluções que apresentavam desenvolvimento semelhante, dessa forma seria possível definir uma solução, implementá-la e testá-la, antes de aplicar todos os processos afins, dessa forma, se torna possível fazer mudanças de forma controlada, minimizando os impactos no sistema de produção.

Dado o grande volume de processos semelhantes que foram mapeados, será feito o detalhamento do desenvolvimento desse projeto que pode ser definido como piloto, serão 3 atividades a serem enfatizadas nesse projeto, Nesse trabalho será apresentado as seguintes situações: ferramentas não identificadas, ferramentas mal dimensionadas, mudança de ferramentas na montagem de buchas.

3.2.1 Ferramentas não identificadas

O uso de ferramentas como macetes requer um controle adequado na linha de montagem, em primeiro lugar, devido às questões de segurança, já que o seu uso indevido representa risco à saúde do operador, em segundo lugar, em relação a qualidade do produto, pois seu uso pode danificar o material, causando prejuízos estéticos e funcionais, mas além disso, há a possibilidade de mascarar um defeito, dessa forma, sua causa não será investigada e resolvida, atuando na propagação de um problema que posteriormente pode causar severas consequências negativas.

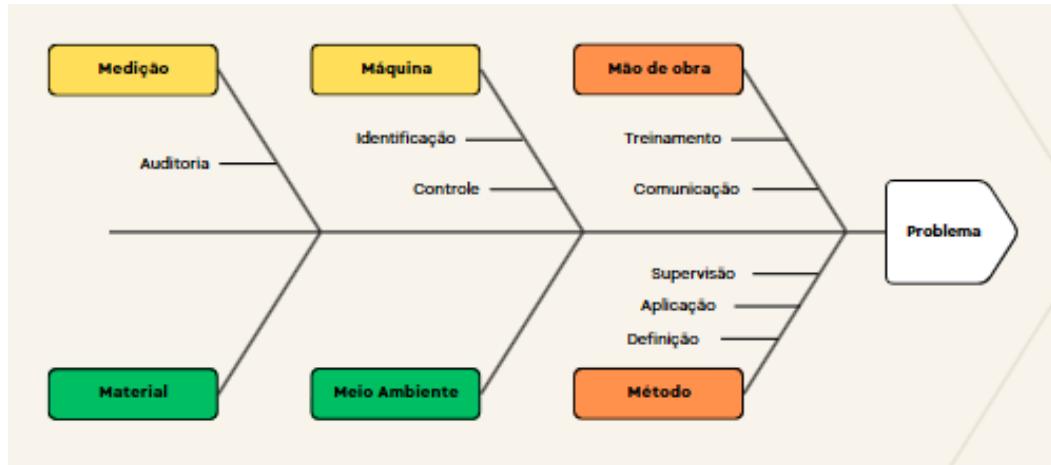


Figura 10: Diagrama de Ishikawa aplicado a ferramentas não identificadas

Utilizando o diagrama de Ishikawa, pode-se entender que a causa das falhas estavam relacionadas ao método, a máquina, a mão de obra e a medição que impactam no contexto da máquina. Dessa forma foi possível implementar o processo de identificação do ferramental, que é de suma importância para garantir que a ferramenta correta seja usada adequadamente no processo, evitando que sejam substituídas por ferramentas não projetadas e sem aprovação para o uso. Além disso, essa identificação auxilia no seu controle, permitindo identificar perda, danos excessivos por mau uso ou até mesmo utilização de substitutos, como objetos e marretas fabricadas sem autorização. Em consonância a isso, foi realizado um treinamento junto aos operadores para a realização da montagem conforme o método previsto, haja vista as consequências da montagem inadequada para a segurança e para a qualidade do produto.

Além disso, foi feita uma revisão do processo com os supervisores de produção de forma que eles estejam cientes do procedimento e agendem o treinamento para todos os operadores. Além disso, esse foi adicionado um tópico sobre a identificação das ferramentas na auditoria semanal operacional, possibilitando a identificação de alguma não conformidade de forma mais rápida e eficiente. Dessa forma, foi trabalhado o método, a máquina, a mão de obra e a medição a fim de reduzir os riscos associados a esses modos de falha. Fazendo a análise de riscos do processo de colagem das placas de identificação dos chassis da máquina em que a utilização de um martelo anti retrocesso na fixação final.

A tabela 3 apresenta a relação de quantidade de processos por classificação de riscos.

Tabela 3 – Avaliação de riscos antes da identificação das ferramentas

Modo de falha	Severidade	Detecção	Ocorrência	RPN
Utilizar apenas a mão	7	8	4	224
Utilizar algum objeto	5	8	6	240
Utilizar um martelo inadequado	6	8	9	432
Não realizar o processo	7	2	5	70

Essa identificação deve ocorrer de duas formas: a identificação física permanente, que é feita por entalhe na ferramenta, constando o posto de utilização e o código da ferramenta, e sempre que a ferramenta for substituída receberá a nova marcação. E a identificação sistemática, cada posto de trabalho possui uma lista de ferramentas aprovadas, com a quantidade e especificações autorizadas, cada processo que utiliza marretas e martelos deve possuir a descrição e código na OMS. Junto a isso, a única forma de obtenção dessas ferramentas seja por meio de um formulário, em que uma ferramenta danificada é devolvida para retirar uma nova, desde que atenda a todos os requisitos citados.

Depois das alterações terem sido feitas, temos a nova avaliação de riscos:

Tabela 4 – Avaliação de riscos após a identificação das ferramentas

Modo de falha	Severidade	Detecção	Ocorrência	RPN
Utilizar apenas a mão	7	4	2	56
Utilizar algum objeto	5	4	2	40

Utilizar um martelo inadequado	6	1	1	6
Não realizar o processo	7	2	2	28

3.2.2 Ferramentas mal dimensionadas

Dada a simplicidade do martelo e afins, não seguia uma boa definição de procedimento quanto a definição da ferramenta adequada, o que contribui para uma propagação de ferramentas superdimensionadas na linha de montagem, ou seja, para a aplicação dessa ferramenta, não havia um processo de projeto das dimensões do ferramental trazendo impactos negativos na ergonomia do operador. A partir da análise técnica, foi observado essa situação, sendo feitas suposições sobre a possibilidade das dimensões das ferramentas serem incompatíveis com as atividades realizadas. Avaliando os riscos da montagem de pinos de diversos tamanhos e massas que desempenham funções distintas, como fixação e transmissão de movimento, temos:

Tabela 5 – Avaliação de riscos antes mudança de ferramentas

Modo de falha	Severidade	Detecção	Ocorrência	RPN
Utilizar martelo maior	6	8	8	384
Utilizar martelo menor	6	8	4	192
Utilizar martelo sem necessidade	8	6	7	336
Substituir ferramenta por martelo	8	6	7	336

Nesse caso, utilizando o diagrama de Ishikawa, pode-se entender que a causa das falhas estavam relacionadas à máquina, e algumas adequações em relação a mão de obra e método. Assim sendo, houve um entendimento que deveria haver uma revisão das especificações de massa para as ferramentas, levando em consideração que o aumento traria consequências ergonômicas e que a redução de massa da ferramenta poderia causar um incremento na frequência de uso que também é prejudicial, nesse momento, essa revisão foi feita de forma empírica, por meio de uma série de testes com 10 montagens para cada atividade, utilizando cada uma das ferramentas aprovadas.

Então, com as mudanças validadas e aprovadas, houve a alteração da descrição do farramental na lista de ferramentas, atualização do método de montagem na OMS e foi feita todas as identificações necessárias, em concomitância a isso, foi orientado aos montadores sempre a atenderem às especificações de ferramentas que estão na folha de processos (OMS) bem como não utilizar outros métodos de impacto para as montagens. Para a engenharia de fábrica foi definido que as novas implementações de ferramentas similares a martelos deveriam ser haver essa preocupação com as dimensões aprovadas e especificadas de acordo com os requisitos da atividade, ficando vedada a introdução de novas ferramentas sem prévio acordo do setor de engenharia e segurança.

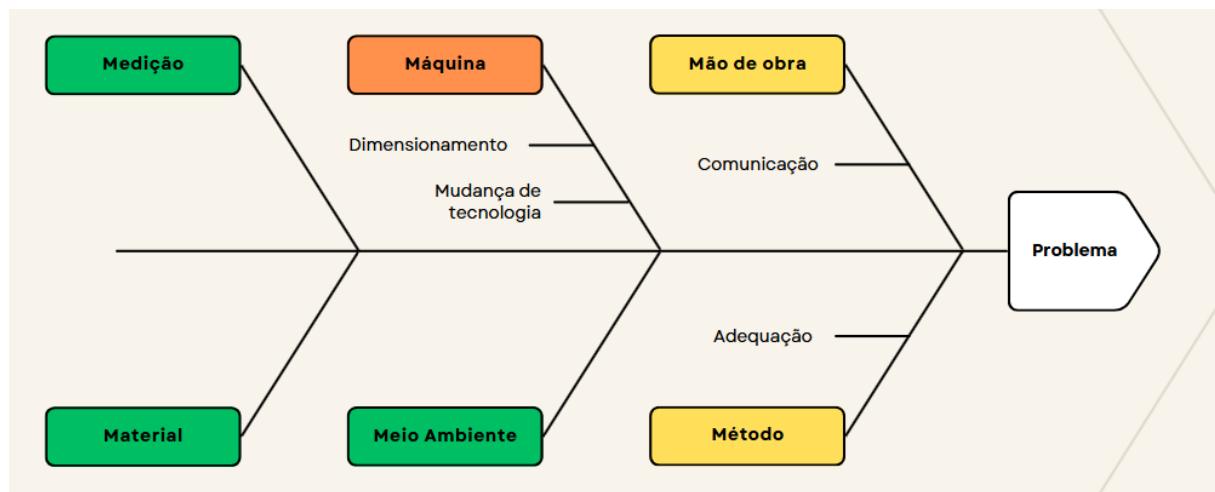


Figura 11: Diagrama de Ishikawa aplicado a ferramentas mal dimensionadas

Tabela 6 – Avaliação de riscos após mudança de ferramentas

Modo de falha	Severidade	Detecção	Ocorrência	RPN

Utilizar martelo maior	6	8	3	144
Utilizar martelo menor	6	8	1	48
Utilizar martelo sem necessidade	8	6	3	144
Utilizar martelo em processo inadequado	8	6	7	336

Quanto à utilização do martelo em processos que ele não atende aos requisitos, não foi possível implementar as mudanças nesse caso, por isso o risco se manteve o mesmo. Para as montagens em que o martelo anti retrocesso com as dimensões aprovadas não atenderam as necessidades, foram movidas para a categoria de mudança de tecnologia, essa categoria tem uma complexidade maior e seria trabalhada posteriormente no projeto. No entanto, é possível visualizar uma significativa redução nos riscos dos outros modos de falha, porém o risco de ocorrência não teve maior decréscimo devido ao possível compartilhamento de ferramentas entre estações de trabalho.

3.2.3 Mudança de tecnologia

O uso do martelo anti retrocesso possui algumas limitações para algumas aplicações, um exemplo disso é a montagem de buchas mecânicas em furos que possuem interferência. Já que o uso de uma ferramenta menor impactaria severamente na quantidade de impactos para finalizar a montagem, resultando em um significativo aumento de frequência de uso.

Dessa forma, é necessário explorar outras ferramentas e tecnologias para adequação do processo. Pelo diagrama de Ishikawa, pode-se entender que nesse caso o modo de falha também estava relacionado à máquina, da mesma forma iria requerer algumas adequações em relação a mão de obra e método. Como a utilização de buchas mecânicas e pinos são bastante amplas dentro da linha de montagem, é recorrente o uso de martelete pneumático juntamente com um cinzel especial para esse tipo de aplicação.

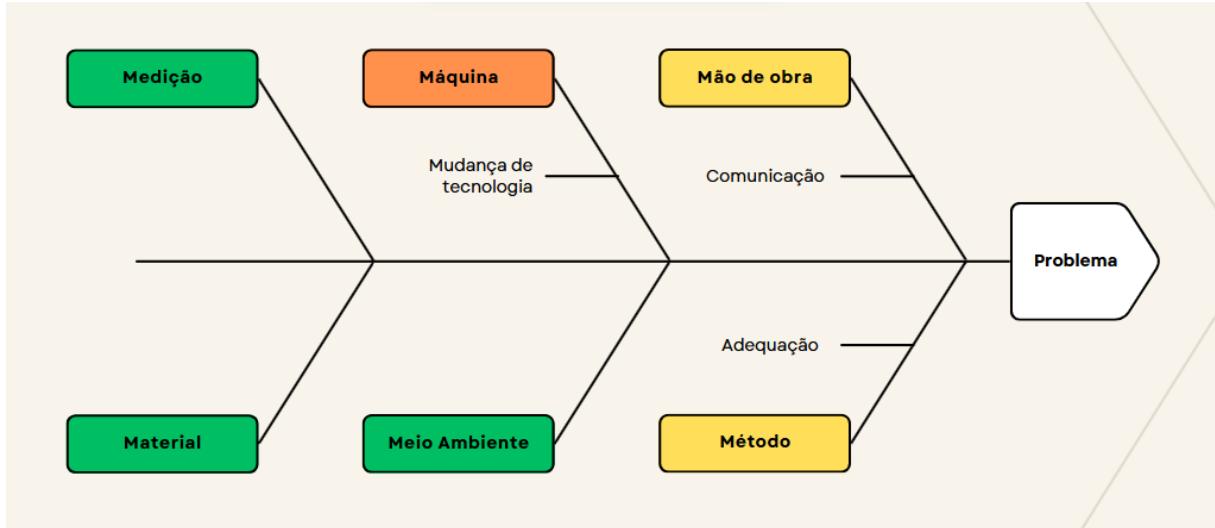


Figura 08: Diagrama de Ishikawa aplicado a mudança de ferramentas

Tabela 7 – Avaliação de riscos antes mudança de tecnologia

Modo de falha	Severidade	Detecção	Ocorrência	RPN
Ferramenta não aplica força necessária	9	4	9	324
Ferramenta danifica a peça	9	4	7	252
Ferramenta não garante posicionamento adequado	9	4	5	180

Nesse tópico, além de graves modos de falha relacionados a segurança e ergonomia, eles também geram consequências para a qualidade do produto. Quando o martelo não viabiliza a aplicação de força, é necessário uma grande quantidade de tempo e esforço para a montagem da peça conforme as especificações, além disso o posicionamento incorreto pode danificar a peça e dificultar a montagem, aumentando ainda mais os riscos de acidentes e o impacto ergonômico. Com o uso de uma ferramenta melhor projetada e dedicada a esse tipo de aplicação, ela garante que as peças sejam montadas com a força e posição adequadas sem que haja danos às peças.

Tabela 8 – Avaliação de riscos após mudança de tecnologia

Modo de falha	Severidade	Detecção	Ocorrência	RPN
Ferramenta não aplica força necessária	9	2	2	36
Ferramenta danifica a peça	9	2	2	36
Ferramenta não garante posicionamento adequado	9	2	2	36

Depois da entrega do cinzel especial, ele é introduzido ao processo como ferramenta autorizada, identificando seu uso na folha de processos, fazendo as adequações necessárias em relação à sequência de eventos e tempos de operação. Juntamente com o setor de engenharia, a equipe do fornecedor faz a entrega técnica do ferramental, dando o treinamento de uso, de forma prática, e retirando possíveis dúvidas relacionadas a sua operação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das concepções monocausal e multicausal de acidentes de trabalho revelou diferentes abordagens para a compreensão dos eventos acidentais em ambientes industriais. A concepção monocausal, que atribui o acidente a uma única causa direta, geralmente um erro humano, é limitada diante da complexidade dos sistemas produtivos atuais. Já a abordagem multicausal demonstrou maior efetividade ao considerar vários fatores interdependentes, como falhas no processo, condições ambientais, aspectos organizacionais e práticas de gestão.

Observa-se que a adoção de uma perspectiva multicausal permite uma análise mais abrangente dos riscos e uma identificação de causas sistêmicas dos acidentes, muitas vezes ocultas pela lógica enviesada da monocausalidade. A busca pela mudança de visão provoca impacto direto na cultura de segurança, promovendo um ambiente mais aberto à comunicação de falhas, ao aprendizado coletivo e à implementação de medidas projetos que tratam a causa e não atuam de forma apenas paliativa. Com o mapeamento inicial, foi possível identificar todas as atividades com situações de risco ergonômico e de acidentes ligados à utilização das ferramentas.

Conjuntamente a isso, a aplicação de ferramentas de qualidade e de análise de risco, tal como o diagrama de Ishikawa e a avaliação de riscos FMEA permitiu uma análise bastante detalhada das atividades críticas, identificando as situações de risco, causas raízes e nível de risco. A análise revelou que o verdadeiro problema não era a ferramenta manual utilizada, mas sim o contexto de uso, a ausência de treinamento adequado, a falta de procedimentos claros e o mal dimensionamento da ferramenta. A solução adotada mostrou-se simples, barata e eficiente para a maioria dos cenários, porém não é aplicável a todas as situações operacionais, especialmente aquelas que exigem maior esforço. Após a implementação e validação das adequações, observou-se uma redução significativa dos riscos identificados, e além disso, apresentou grande satisfação pelos operadores que deram retornos positivos.

5 CONCLUSÃO

A cultura da qualidade, da segurança e da ergonomia é essencial para a sustentabilidade das organizações. Processos bem estruturados reduzem falhas, acidentes e desperdícios. A integração entre esses pilares promove ambientes mais seguros e produtivos. A ergonomia assegura condições de trabalho compatíveis com as capacidades humanas. A segurança previne riscos e protege a vida. A qualidade garante eficiência e conformidade.

A comparação entre as concepções Heinrich e Llory evidencia uma mudança de foco na compreensão dos acidentes. Heinrich valoriza o comportamento individual, enquanto Llory destaca as falhas sistêmicas e contextuais. A análise mostra que responsabilizar apenas o trabalhador é insuficiente e pode ocultar causas organizacionais mais profundas. Llory amplia a visão de segurança ao considerar a complexidade do trabalho real. Isso permite uma abordagem mais justa e eficaz na prevenção de acidentes.

A análise combinada das ferramentas Ishikawa e FMEA mostrou-se eficaz na identificação de causas e riscos ocultos nos processos. O novo método proposto apresentou potencial real de melhoria, com base em dados objetivos. A validação reforçou a importância da escuta ativa dos trabalhadores na implantação de mudanças.

Finalmente, conclui-se que a importância da discussão sobre segurança do trabalho e ergonomia no ambiente industrial e da criação de projetos de melhoria sobre esse tema. É evidente que investir nessas áreas não é sobre custo. Para o futuro, é necessário conscientização coletiva, melhoria na comunicação interna e envolver todos os níveis da organização. A cultura deve ser praticada diariamente e constantemente aprimorada.

Neste trabalho foram discutidas apenas algumas das situações que foram encontradas e analisadas, dessa forma o projeto será continuado explorando novas formas de adequar o processo e ferramentas para uma melhoria no ambiente de trabalho. Além disso, novos estudos e projetos como esse devem ser encorajados para mostrar a viabilidade técnica e financeira em diversos ramos da indústria e com diversas outras ferramentas e cenários, mudando a perspectiva sobre a ergonomia e segurança no trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, Júlia; SZNELWAR, Laerte Idal; SILVA, Alexandre Luís de Oliveira. **Introdução à ergonomia: da prática à teoria.** São Paulo: Blucher, 2009.
- BERTSCHE, B. **Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability.** Berlin:Springer, 2008.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria-Executiva. Coordenação-Geral de Gestão de Pessoas. **Cartilha de Ergonomia: aspectos relacionados ao posto de trabalho.** Brasília: Ministério da Saúde, 2020.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.** Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 17 – Ergonomia.** Brasília, DF: Ministério do Trabalho e Emprego, 2020.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: controle da qualidade total no estilo japonês.** 8. ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.
- DEMING, W. Edwards. **Saindo da crise.** Tradução de Livio Luiz C. Xavier. 1. ed. São Paulo: Editora Atlas, 1990.
- FISCHER FILHO, João Alberto; NASCIMENTO, Douglas Prescilio do; BUENO, Miriam Pinheiro. **Prospección tecnológica de mecanismos desarrollados para cosechadora de caña de azúcar.** Estudios Rurales, Universidad Nacional de Quilmes, Argentina, v. 14, n. 30, 2024. ISSN 2250-4001. Recebido em: 03 out. 2023. Aprovado em: 15 jul. 2024.
- ISHIKAWA, Kaoru. **Guia de Controle de Qualidade.** 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1985.
- HEINRICH, H. W. **Prevenção de acidentes industriais: uma abordagem científica.** Tradução livre. Nova York: McGraw-Hill, 1931.
- LLORY, Jean. **O acidente e a organização: o que a abordagem dos acidentes revela sobre o funcionamento das organizações.** Tradução de Gilson César Cardoso de Souza. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 1999.

MORAIS, Isabel Cristina da Silva de. **Gestão da Qualidade Total.** Guarda: Escola Superior de Tecnologia e Gestão da Guarda, 2005. (Coleção Gestão da Produtividade e Qualidade, v. 7).

STAMATIS, D. H. **Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution.** [S.l.]: Quality Press, 2003.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** [S.l.]: Imam, 2004.

PEIXOTO, Neverton Hofstadler. **Curso técnico em automação industrial : segurança do trabalho.** – 3. ed. – Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria : Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.

PENTTI, H.; ATTE, H. **Failure mode and effects analysis of software - based automation systems.** STUK - Radiation and Nuclear Safety Authority. Helsinki. 2002.