

MÉTODO DMAIC: DESENVOLVIMENTO DE FAROL *FULL LED* EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

DMAIC METHOD: DEVELOPMENT OF FULL LED HEADLIGHT IN AN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Flávio Paulino*  Email: flaviojpaulino@gmail.com

Johny Barbosa*  Email: jkbarbosa@sga.pucminas.br

Nicolle Alves*  Email: nicolle.ads@gmail.com

Thiago Pimentel*  Email: thiago.papandrea@sga.pucminas.br

Washington Braga*  Email: washington@pucpcaldas.br

*Pontifícia Universidade Católica (PUC), Poços de Caldas, MG, Brasil.

RESUMO: Este estudo explora a aplicação da metodologia DMAIC no desenvolvimento de um novo farol *Full LED* para a indústria automotiva, com foco na identificação e correção de falhas recorrentes nas etapas de projeto e montagem. A pesquisa foi conduzida por meio de um estudo de caso em uma empresa do setor de iluminação e sinalização automotiva na região Sudeste do Brasil, utilizando ferramentas da qualidade como fluxogramas, SIPOC, Pareto, Ishikawa, Matriz GUT, Diagrama de Relação e plano de ação 5W2H. A análise revelou que a falta de padronização e de instruções visuais adequadas impactava a qualidade do produto final. As soluções envolveram digitalização de instruções, padronização de processos e criação de *checklists* de validação. Resultados preliminares indicam melhoria na autonomia dos operadores, redução de retrabalhos e maior conformidade com os procedimentos internos. A ausência de dados quantitativos consolidados e o escopo restrito da aplicação são limitações. Recomenda-se expandir a metodologia para outros produtos e setores e aprofundar estudos sobre fatores humanos na implementação de melhorias técnicas.

Palavras-chave:

DMAIC. Ferramentas da qualidade. Farol de led. Indústria automotiva.

ABSTRACT: This study explores the application of the DMAIC methodology in the development of a new Full LED headlight for the automotive industry, focusing on identifying and correcting recurring failures in the design and assembly stages. The research was conducted through a case study at a company in the automotive lighting and signaling sector in the Southeast region of Brazil, using quality tools such as flowcharts, SIPOC, Pareto, Ishikawa, GUT Matrix, Relationship Diagram, and the 5W2H action plan. The analysis revealed that the lack of standardization and adequate visual instructions impacted the final product quality. Solutions involved digitizing instructions, standardizing processes, and creating validation checklists. Preliminary results indicate improved operator autonomy, reduced rework, and greater compliance with internal procedures. The absence of consolidated quantitative data and the limited scope of the application are limitations. It is recommended to expand the methodology to other products and sectors and to deepen studies on human factors in the implementation of technical improvements.

Keywords: DMAIC. Quality tools. Led headlight. Automotive industry.

1 INTRODUÇÃO

A constante evolução do setor automotivo, impulsionada pelo avanço tecnológico e pelas crescentes exigências dos consumidores, exige métodos eficazes para o desenvolvimento de produtos inovadores e competitivos. A iluminação automotiva, em particular, tem evoluído significativamente, destacando-se como um elemento essencial para a segurança, eficiência energética e estética dos veículos.

Nesse contexto, segundo Sokovic *et al.* (2010) e De Mast & Lokkenbol (2012), a metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) tem se destacado como uma abordagem estruturada para a melhoria de processos e resolução de problemas, proporcionando resultados mensuráveis e sustentáveis. Embora o DMAIC seja amplamente utilizado em gestão da qualidade e melhoria contínua, sua aplicação no desenvolvimento de produtos automotivos ainda é pouco explorada. Esse trabalho visa evidenciar a contribuição científica da metodologia na engenharia de produção, investigando como sua estrutura sistemática pode impactar positivamente a fabricação de faróis *Full LED*.

A pesquisa se concentra na necessidade de aprimorar o processo de desenvolvimento desses componentes, buscando minimizar falhas que comprometem a qualidade final do produto e sua aceitação no mercado. A falta de padronização nos processos produtivos, conforme destacado por Campos (2020), e a ausência de instruções visuais claras, conforme observado por Paladini (2012), são desafios que este estudo busca abordar por meio de ferramentas da qualidade, como fluxogramas, SIPOC, Diagrama de Pareto, Ishikawa e Matriz GUT.

Além disso, a digitalização de processos e a padronização de etapas produtivas são analisadas como possíveis contribuições para um modelo de manufatura mais eficiente. Conforme Minetto (2018), o DMAIC não se limita ao contexto do *Six Sigma*, podendo ser aplicado em diversas situações que demandam melhorias em processos, o que reforça sua relevância para este estudo. Este estudo também sugere direções para futuras pesquisas, como a integração do DMAIC com inteligência artificial e automação avançada, expandindo seu escopo de aplicação e fortalecendo sua relevância na indústria automotiva moderna.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Metodologia DMAIC

De acordo com Sokovic *et al.* (2010), a metodologia DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) oferece uma estrutura baseada em dados que apoia a gestão de projetos voltados para resultados e melhorias contínuas. Conforme Da Silva Gomes *et al.* (2022), sua aplicação possibilita a identificação, quantificação e redução de falhas recorrentes nos processos, promovendo ganhos efetivos de desempenho. Embora pareça linear em sua concepção, o DMAIC atinge melhores resultados quando aplicado de forma flexível, com a eliminação de etapas que não agregam valor e a transformação de problemas em oportunidades de melhoria. Para isso, a metodologia compreende cinco etapas principais, conforme apresentada na Tabela 1.

De Mast & Lokkerbol (2012) destaca que a metodologia DMAIC é especialmente eficaz em problemas que podem ser quantificados e analisados objetivamente, sendo menos apropriada para situações caracterizadas por alta subjetividade e incerteza. Embora frequentemente associada ao *Six Sigma*, Minetto (2018) enfatiza que o DMAIC não se limita a esse contexto, podendo ser utilizado em qualquer situação que exija a implementação de melhorias em processos.

Segundo Andrade (2019), é fundamental que o problema esteja bem definido e que os métodos de coleta de dados sejam avaliados criteriosamente para assegurar a confiabilidade das etapas do projeto. A metodologia também integra diversas ferramentas da qualidade aplicadas de maneira complementar, e a participação das partes interessadas, aliada a estratégias de controle de longo prazo, é essencial para garantir a eficácia e a continuidade das melhorias implementadas, conforme Monday (2022).

Tabela 1 - Etapas para aplicação da ferramenta DMAIC

Etapas	Descrição
<i>Define</i> (Definir)	Nesta etapa, é definido o escopo do projeto. O problema a ser resolvido é claramente definido e os objetivos do projeto são estabelecidos.
<i>Measure</i> (Mensurar)	Coleta de dados juntamente com as características chave do projeto, a fim de medir o desempenho atual do processo e identificar as áreas de melhoria.
<i>Analyze</i> (Analisar)	Análise das medições para buscar as causas fundamentais que influenciam o desempenho do processo.
<i>Improve</i> (Melhorar)	Implementação de ações de melhorias para corrigir os problemas e otimizar o processo.
<i>Control</i> (Controlar)	Definição de mecanismos de monitoramento para garantir a sustentabilidade e os ganhos das melhorias realizadas.

Fonte: adaptado de Sokovic *et al.* (2010).

2.2 SIPOC

Segundo Nshirim *et al.* (2023), o SIPOC é uma ferramenta aplicada à melhoria de processos, permitindo mapear de forma clara as etapas envolvidas desde os fornecedores iniciais até a entrega final ao cliente. Os insumos fornecidos podem incluir informações, revisões, matérias-primas ou até mesmo a Voz do Cliente (VOC). Por oferecer uma visão macro do processo, o SIPOC é amplamente utilizado na fase de definição da metodologia DMAIC, contribuindo para o entendimento inicial dos fluxos organizacionais.

Complementando essa visão, Pyzdek (2003) destaca que, ao listar fornecedores, entradas, saídas e clientes, as partes interessadas podem antecipar falhas ou oportunidades de melhoria antes mesmo de análises mais detalhadas. Essa perspectiva preliminar permite a identificação de pontos críticos que exigem atenção e promove o alinhamento das expectativas entre clientes internos e externos, o que fortalece a gestão e a eficácia dos projetos de melhoria.

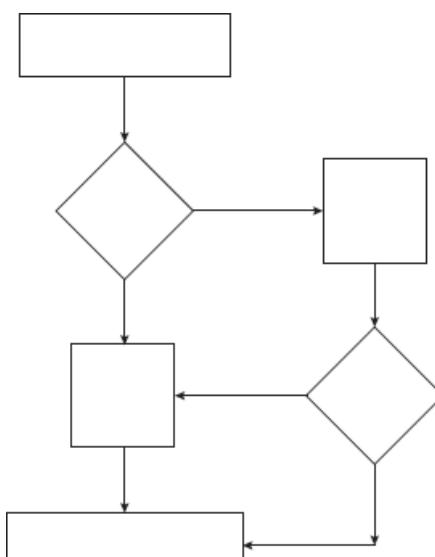
González *et al.* (2021) ressalta ainda que o SIPOC apresenta ampla aplicabilidade em diferentes tipos de processos e setores econômicos, com destaque para sistemas baseados na manufatura enxuta. Sua capacidade de sintetizar as etapas essenciais do processo favorece decisões mais assertivas e a eliminação de desperdícios, alinhando-se aos princípios da eficiência operacional.

2.3 Fluxograma

De acordo com Lins (2019), um fluxograma é uma representação visual que descreve de forma sequencial todas as etapas de um processo, evidenciando como cada uma está conectada conforme Figura 2. Além de mostrar os materiais ou serviços que entram e saem, o fluxograma destaca as decisões a serem tomadas e as pessoas envolvidas. Símbolos são utilizados de forma padronizada para representar as etapas do processo, os setores ou responsáveis, a sequência das ações, bem como o fluxo de dados e documentos.

Além disso, Paladini (2019) ressalta que também é possível identificar operações críticas e, consequentemente, gargalos no processo ao verificar cruzamentos de vários fluxos. Assim, a ferramenta contribui para a garantia da qualidade, ao apresentar de forma clara e estruturada as etapas e a sequência das atividades envolvidas no processo, garantindo maior transparência e controle sobre cada fase.

Figura 2 - Modelo de fluxograma



Fonte: Paladini (2019)

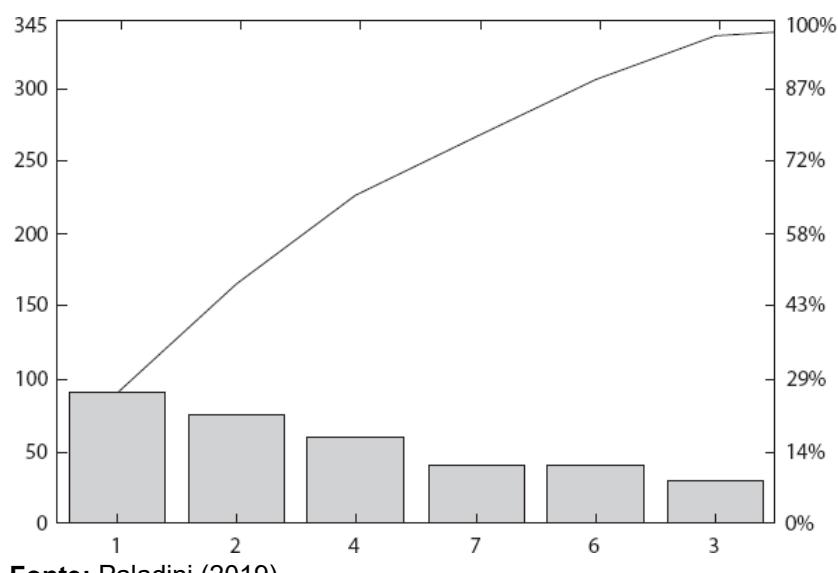
2.4 Diagrama de Pareto

O Princípio de Pareto, também conhecido como regra 80/20, foi adaptado para a área da qualidade por Joseph Juran, conforme destaca Novaski (2020). Juran

observou que aproximadamente 80% dos problemas em processos são causados por cerca de 20% das causas, o que orienta a priorização desses fatores para a implementação de melhorias mais eficazes. Paladini (2019) reforça que essa abordagem torna a alocação de recursos mais eficiente, ao concentrá-los nos elementos com maior potencial de impacto.

Koch (2015) ressalta que o princípio é aplicável não apenas no contexto organizacional, mas também nas esferas pessoal e social, permitindo ampliar a compreensão das dinâmicas presentes em diferentes sistemas. Complementando essa perspectiva, Da Silva Santos *et al.* (2024) destaca que o gráfico de Pareto facilita a identificação das prioridades de melhoria, pois, ao solucionar o problema mais crítico, o próximo mais relevante automaticamente se torna o foco. A Figura 1 ilustra esse conceito por meio do diagrama de Pareto.

Figura 1 - Modelo Diagrama de Pareto



Fonte: Paladini (2019).

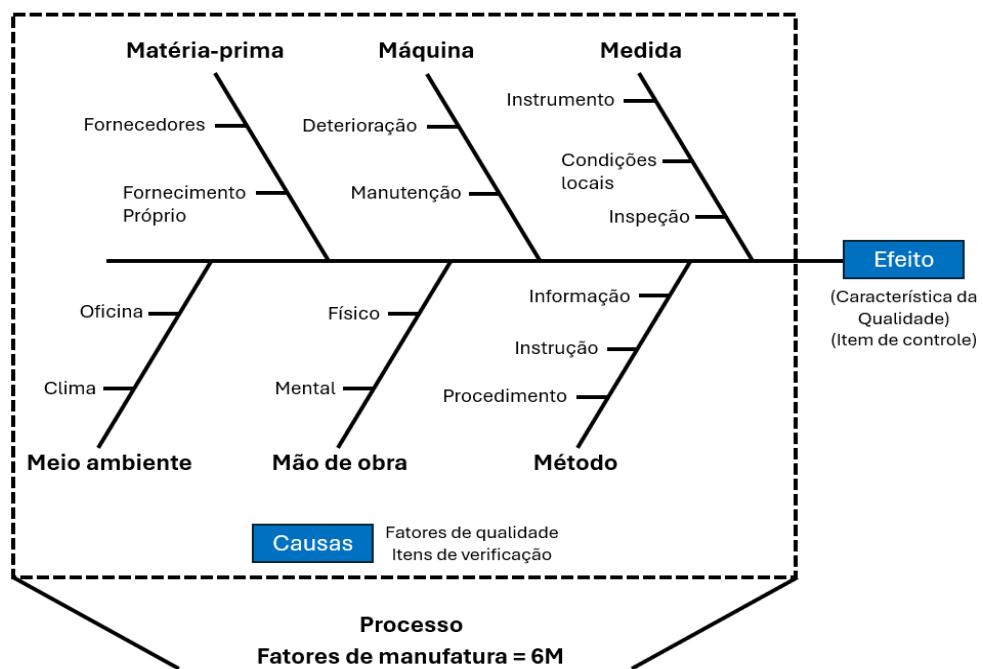
2.5 Diagrama de Ishikawa

Campos (2014) destaca que compreender a relação entre causa e efeito é fundamental para o controle de processos e para tratar as causas raiz dos problemas. Para organizar esses fatores, os japoneses criaram o Diagrama de Causa e Efeito, ou Diagrama de Ishikawa, uma ferramenta visual que facilita a identificação das causas.

Soares (2024) complementa que essa ferramenta permite analisar os processos sob diferentes perspectivas. No Diagrama de Ishikawa, as causas são agrupadas em categorias chamadas 6Ms (matéria-prima, máquinas, medidas, meio ambiente, mão de obra e métodos), também conhecidos como fatores de manufatura, como é ilustrado na figura 3. Rajan *et al.* (2023) reforça que a ferramenta é usada para mapear etapas do processo, identificar pontos críticos de qualidade e direcionar recursos.

Por fim, Campos (2014) lembra que ao surgir um problema, o foco não deve estar em atribuir culpa, mas sim em compreender as causas que o originaram. Essa visão destaca a importância de focar nas causas para buscar soluções eficazes.

Figura 3 - Exemplo de Diagrama de Ishikawa



Fonte: adaptado de Campos (2014).

2.6 5 Porquês

A ferramenta dos 5 Porquês foi criada na década de 1950 como uma metodologia simples e eficaz para identificar a causa raiz de problemas operacionais, incentivando a melhoria contínua no ambiente industrial. Segundo Maia *et al.* (2024), o método dos 5 Porquês consiste em definir um problema e questionar sucessivamente o motivo de sua ocorrência, geralmente por cinco vezes, até se chegar à causa raiz.

Ohno (1988) destaca que essa prática é central no Sistema Toyota de Produção, pois permite investigar além das causas aparentes e alcançar a “causa real” dos problemas. Essa abordagem evita soluções paliativas, favorece ações corretivas eficazes e contribui para a redução de desperdícios, promovendo inovações como a automação com toque humano e maior eficiência operacional. A análise crítica baseada em dados e fatos, segundo o autor, é essencial para a implementação de melhorias sustentáveis e para fortalecer a cultura de responsabilidade e aprendizado nas organizações.

2.7 Matriz GUT

A matriz GUT é uma ferramenta amplamente utilizada na gestão da qualidade e em projetos para auxiliar na priorização de problemas e ações. Segundo Pinto *et al.* (2022), a Matriz GUT atribui notas à gravidade, urgência e tendência, considerando o impacto do problema, o tempo para surgimento dos danos e a probabilidade de agravamento caso não sejam tomadas medidas.

De Sá Freire *et al.* (2023) complementa que o método permite uma análise abrangente do impacto dos problemas, considerando tanto a severidade quanto o tempo necessário para a resolução, além do potencial de agravamento da situação a longo prazo.

Paralelamente, Rabello (2025) ressalta a importância de adotar critérios padronizados para priorização, facilitando a decisão sobre quais ações devem receber atenção imediata. Embora esse conceito tenha sido originalmente desenvolvido por Charles H. Kepner e Benjamin B. Tregoe em 1981, sua aplicação permanece atual e eficaz, especialmente na gestão da qualidade, por ajudar equipes a organizar e priorizar tarefas de forma objetiva.

Assim, a metodologia GUT, apresentada na Tabela 2, apoia-se nos três critérios principais — Gravidade, Urgência e Tendência — para oferecer uma análise clara e estruturada de cada situação, orientando a tomada de decisão de maneira eficiente.

Tabela 2 - Definição dos critérios

Matriz GUT			
Gravidade	Urgência	Tendência	Pontuação
Magnitude do problema e seu potencial de dano a curto e longo prazo	O prazo para que o dano se concretize, ou seja, quanto rapidamente é necessário agir	Consiste na evolução do problema em função do tempo	Ordem de prioridade do objetivo, problema ou ação

Fonte: adaptado de Sá Freire *et al.* (2023).

Problemas ou riscos são classificados em uma escala de 1 a 5 para cada critério — gravidade, urgência e tendência — onde 5 indica maior intensidade, conforme apresentado na Tabela 3. Após a atribuição dessas pontuações, elas são multiplicadas ($G \times U \times T$) para determinar a prioridade de cada problema ou risco. Itens com maiores valores recebem atenção prioritária, direcionando esforços para as questões que representam maior impacto ou urgência, o que contribui para a melhoria eficiente dos processos.

Tabela 3 - Pesos $G \times U \times T$

Gravidade	Urgência	Tendência
1 - Nenhuma	1 - Sem necessidade de ação	1 - Situação estável, sem evolução
2 - Baixa	2 - Pode ser adiada	2 - Possível evolução a longo prazo, pode ocorrer com atrasos
3 - Média	3 - Deve ser resolvido em breve	3 - Espera-se evolução em médio prazo
4 - Alta	4 - Requer atenção imediata	4 - Evolução da situação prestes a ocorrer
5 - Total	5 - Ação imediata necessária	5 - Evolução imediata da manifestação, pode piorar rapidamente

Fonte: adaptado de Sá Freire *et al.* (2023).

Com a matriz organizada em ordem decrescente de prioridade, torna-se possível elaborar um plano de ação eficaz, alocando recursos de forma estratégica para resolver os problemas mais críticos. Essa abordagem facilita a tomada de decisão e promove um gerenciamento mais estruturado, garantindo que as ações gerem o máximo impacto na melhoria contínua da organização.

2.8 Diagrama de Relação

Um Diagrama de Entidade-Relacionamento (DER) é uma representação gráfica que modela a estrutura lógica de um sistema, destacando entidades, atributos e os relacionamentos entre elas. As entidades podem representar pessoas, objetos, conceitos ou eventos.

Segundo Sordi *et al.* (2009), os DERs, ou modelos ER, utilizam símbolos padronizados, como retângulos, elipses, losangos e linhas, que facilitam a compreensão da estrutura de dados.

De acordo com Mizuno (1988), as setas indicam relações de causa e efeito, geralmente apontando da causa para o efeito ou dos meios para os fins, embora possam ser invertidas conforme o objetivo da análise.

Além disso, conforme Andersen e Fagerhaug (2000), esse tipo de diagrama pode auxiliar na identificação de conexões lógicas entre diferentes ideias ou problemas, especialmente em contextos complexos ou desorganizados, aproximando-se do uso como ferramenta para análise de causa e efeito.

2.9 5W2H

A metodologia 5W2H é uma ferramenta amplamente utilizada na gestão empresarial por sua estrutura lógica e prática, que facilita a elaboração de planos de ação. Ela organiza as informações essenciais para a execução de qualquer tarefa, respondendo às sete perguntas fundamentais: o que será feito, por que, por quem, quando, onde, como e com quais recursos, conforme apresentado por Campos (2004) e ilustrado no Quadro 1.

Segundo Gallegos (2023), sua simplicidade contribui significativamente para a definição clara de responsabilidades, prazos e recursos, promovendo uma

comunicação mais eficaz entre os envolvidos. Ainda que sua aplicação possa ocorrer por meio de planilhas simples, o sucesso da ferramenta depende do preenchimento preciso e objetivo de cada item. Isso garante o alinhamento entre o planejamento e a execução, além de permitir o acompanhamento e controle sistemático das ações propostas.

Quadro 1 - Definição do plano de ação 5W2H

Etapas	Descrição
<i>What</i> (O quê)	Define o que precisa ser feito, ou seja, as contramedidas provenientes do <i>brainstorming</i> realizado para resolução do problema.
<i>Why</i> (Por quê)	Explica a razão para a tarefa com o objetivo de entender o seu objetivo. “As pessoas querem saber por que fazem as coisas”.
<i>When</i> (Quando)	Estabelece o prazo para a tarefa para um bom gerenciamento do tempo.
<i>Where</i> (Onde)	Identifica o local de execução para que haja a garantia de que os recursos estejam disponíveis no local certo.
<i>Who</i> (Quem)	Designa quem será responsável garantindo assim clareza nas responsabilidades atribuídas. “O responsável deve ser uma pessoa física”.
<i>How</i> (Como)	Descreve o método ou padrão a ser usado a fim de evitar retrabalhos
<i>How Much</i> (Quanto)	Avalia o custo e recursos necessários para que seja possível um bom planejamento financeiro.

Fonte: adaptado de Campos (2004).

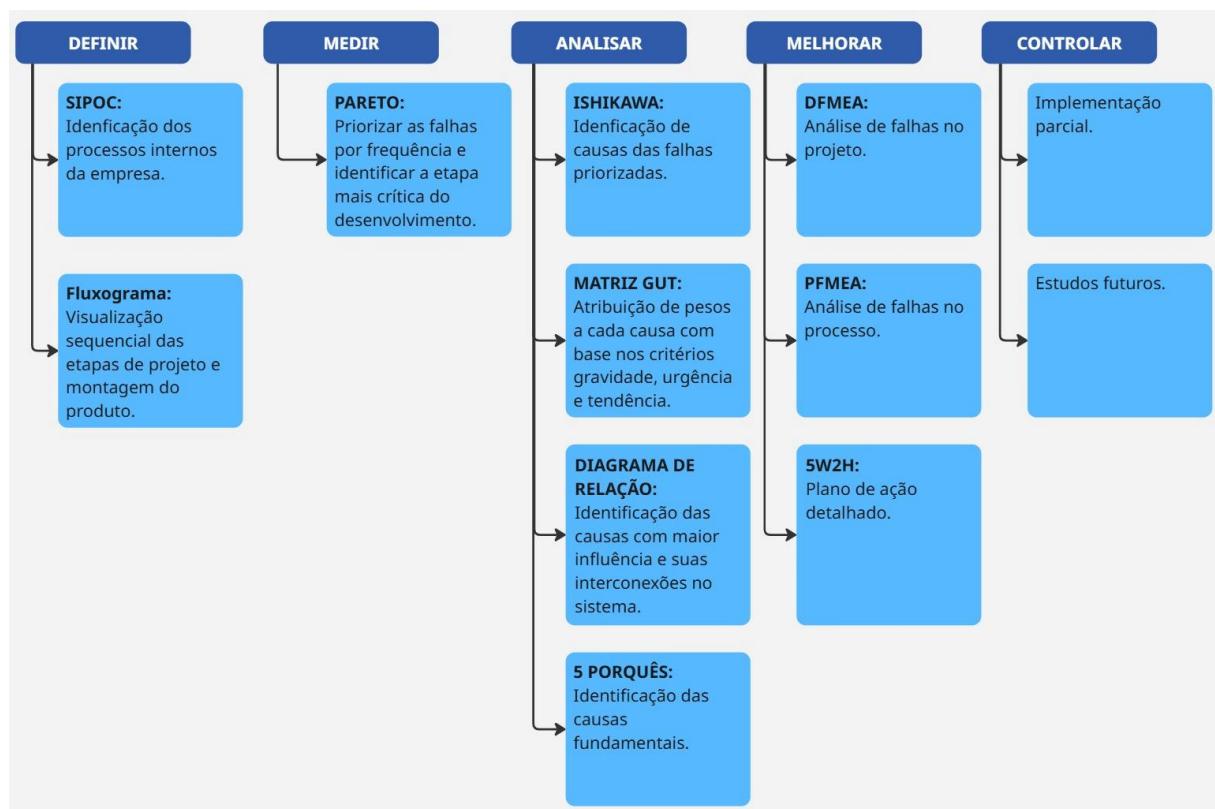
Dessa forma, a aplicação da metodologia 5W2H contribui para uma organização mais clara das atividades, promovendo maior eficiência nos processos. Ao oferecer uma abordagem estruturada para o planejamento e acompanhamento de ações, essa ferramenta facilita a resolução de problemas e apoia a melhoria contínua, resultando em um gerenciamento mais eficaz e orientado a resultados.

3 METODOLOGIA

Neste trabalho, a metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) será adotada como estrutura principal para a análise e resolução de problemas. A coleta de dados será realizada por meio de formulários, preenchimento

de indicadores, mapeamento conduzido pela liderança e análise de indicadores sistêmicos. Em cada etapa, serão aplicadas ferramentas da qualidade, como gráficos de Pareto e fluxogramas, com o objetivo de oferecer uma abordagem sistemática e visual dos dados. Com esses recursos, os resultados obtidos e as discussões correspondentes serão apresentados de forma clara e fundamentada em cada fase do processo. O fluxograma da Figura 4 detalha o desenvolvimento da metodologia aplicada.

Figura 4 - Fluxograma da metodologia empregada



Fonte: Autores (2024).

3.1 Materiais e Métodos

De acordo com Sátyro *et al.* (2020), o estudo de caso pode adotar uma abordagem descritiva ou explicativa, voltada para a construção ou o teste de teorias. Ele pode envolver um único caso ou múltiplos casos, com a unidade de análise sendo tratada de forma incorporada ou holística. O estudo também pode ser conduzido de

maneira sequencial ou paralela, podendo ter uma abordagem retrospectiva ou prospectiva. A quantidade e a qualidade das informações disponíveis têm um impacto direto no valor do estudo, pois influenciam a profundidade da análise a ser realizada. Além disso, definir claramente os limites do caso, considerando aspectos como tempo, eventos e processos, é essencial para uma análise precisa e adequada. Por fim, a análise de múltiplos casos simultaneamente pode comprometer a profundidade do estudo, tornando-o menos detalhado.

3.2 Metodologia do Trabalho

A metodologia seguiu as etapas estruturadas do DMAIC. Na fase *Define*, foram identificados os principais gargalos no projeto e na montagem do produto por meio de SIPOC e fluxogramas. Na etapa *Measure*, os dados coletados foram analisados com ferramentas como Pareto e histograma para mensuração precisa das falhas. Durante a etapa *Analyze*, as causas raízes foram identificadas utilizando diagramas de Ishikawa e a técnica dos 5 Porquês. Na fase *Improve*, ações de melhoria foram organizadas através do plano 5W2H. Por fim, na etapa *Control*, mecanismos de monitoramento contínuo foram estabelecidos para garantir a eficácia das ações implementadas.

3.3 Descrição da Empresa

A empresa estudada atua no desenvolvimento e produção de faróis e sistemas de iluminação automotiva, sendo reconhecida por sua excelência em inovação tecnológica e qualidade. Situada na região Sudeste do Brasil, atende clientes globais e está comprometida com práticas de melhoria contínua e sustentabilidade. Com uma estrutura moderna e equipe especializada, a organização investe constantemente na capacitação de seus colaboradores e na adoção de metodologias como o DMAIC, visando assegurar a qualidade e a competitividade de seus produtos no mercado automotivo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES – APLICAÇÃO DMAIC

4.1 Etapa D - Define (Definir)

De acordo com os passos da metodologia DMAIC, a etapa inicial deste estudo consiste em definir o problema a ser analisado e melhorado, estabelecendo, assim, o escopo do projeto. Para isso, foi realizado um mapeamento detalhado dos processos internos da empresa utilizando a ferramenta SIPOC, além da identificação do caminho crítico do processo, conforme ilustrado na figura 5 a seguir.

Figura 5 - Matriz SIPOC - Produção de farol com Projetor FULL LED

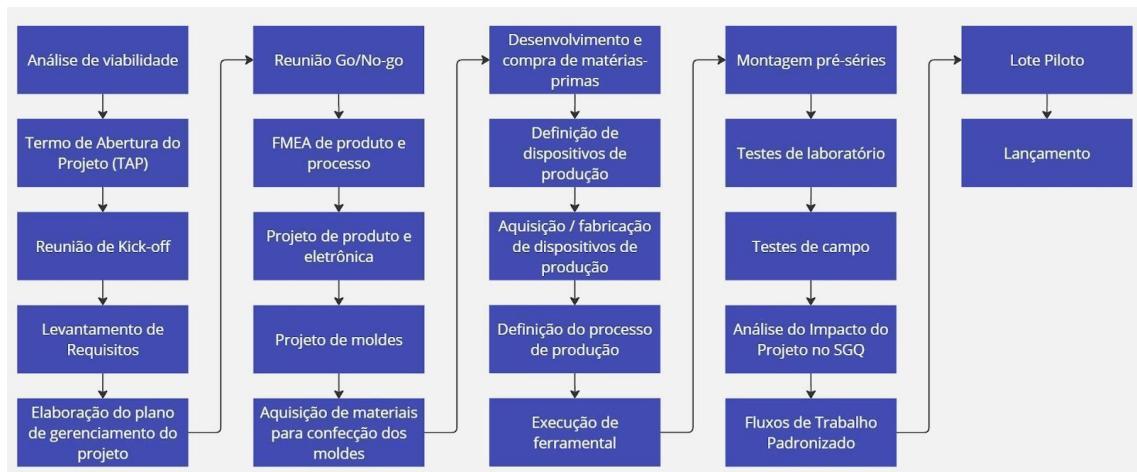
S	SUPPLIERS que está fornecendo entrada para um processo	I	INPUT recurso fornecido pelo fornecedor para incorporação ao processo	P	PROCESS medidas tomadas para converter entrada para saída	O	OUTPUT recurso resultante do processo	C	CUSTOMER receptor de recém- produção criada
TÍTULO DO PROCESSO:	Produção de Farol com Projetor FULL LED								
F O R N E C E D O R E S	PCP	E N T R A D A	Programação de Pedidos	P R O C E S S O	Programação de produtos a serem produzidos através do mapa de expedição FRL-TR	S A Í D A	Ordem de Produção	C L I E N T E	Almoxarifado
	Almoxarifado		Etiqueta de Kanban		Separação das matérias-primas		Material Separado em caixas KLT dedicadas		Setor de Produção (Injetoras / Linha SMT/ Linha Chicotes)
	Setor de Produção (Injetoras / Linha SMT/ Linha Chicotes)		Ordens de Produção / Matérias-primas		Injeção dos componentes / Montagem das placas eletrônicas / Montagem do chicote elétrico		Produtos Internos		Linha Montagem Final
	Linha Montagem Final		Ordens de Produção / Matérias-primas / Produtos Internos		Montagem dos produtos internos e matérias-primas dedicadas		Produto acabado (farol)		Inspeção
	Inspeção		Produto acabado (farol)		Inspeção de Qualidade do produto		Produto acabado (farol) inspecionado		Testes
	Testes		Produto acabado (farol) inspecionado		Testes funcionais, elétricos, estanqueidade e dimensional		Produto acabado (farol) testado e com rastreabilidade		Embalagem
	Embalagem		Produto acabado (farol) testado e com rastreabilidade		Embalar produto individualmente com dispositivos de proteção		Produto embalado		Expedição
	Expedição		Produto embalado		Envio para o cliente por transportadora		Transporte de entrega ao cliente		Cliente

Fonte: Autores (2024).

A partir do SIPOC, identificou-se que a etapa de montagem final do produto representa o caminho crítico do processo produtivo.

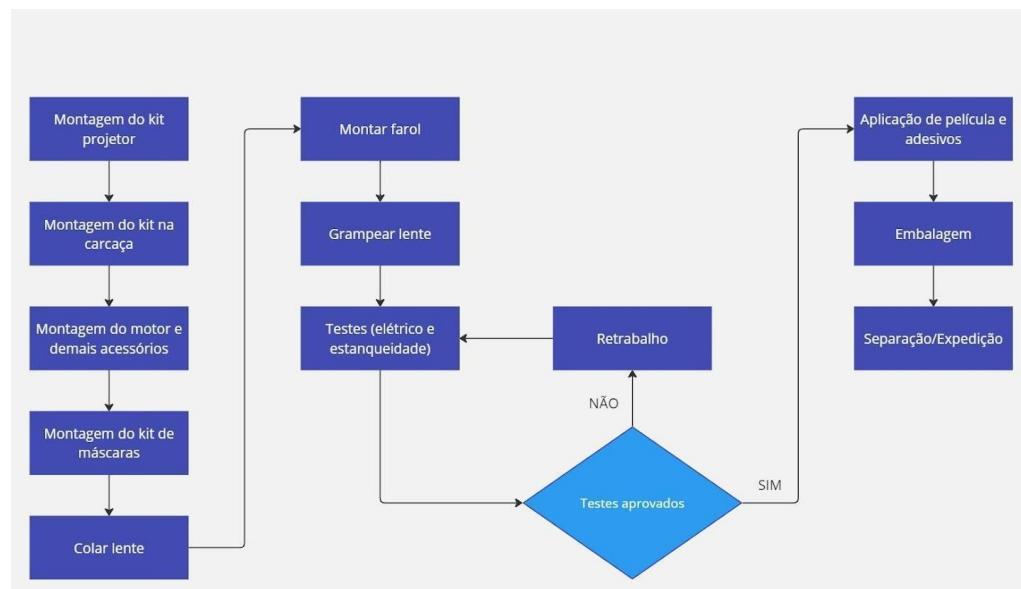
Diante disso, tornou-se necessário obter uma visão mais ampla do estado atual da empresa, considerando que o desenvolvimento do produto abrange desde a fase de projeto até a produção. Para isso, foi utilizado a ferramenta fluxograma, que permite visualizar as etapas de projeto e montagem do produto, apresentadas nas figuras 6 e 7, respectivamente.

Figura 6 - Fluxograma - Projeto de produto



Fonte: Autores (2024).

Figura 7 - Fluxograma de Processo - Montagem Final



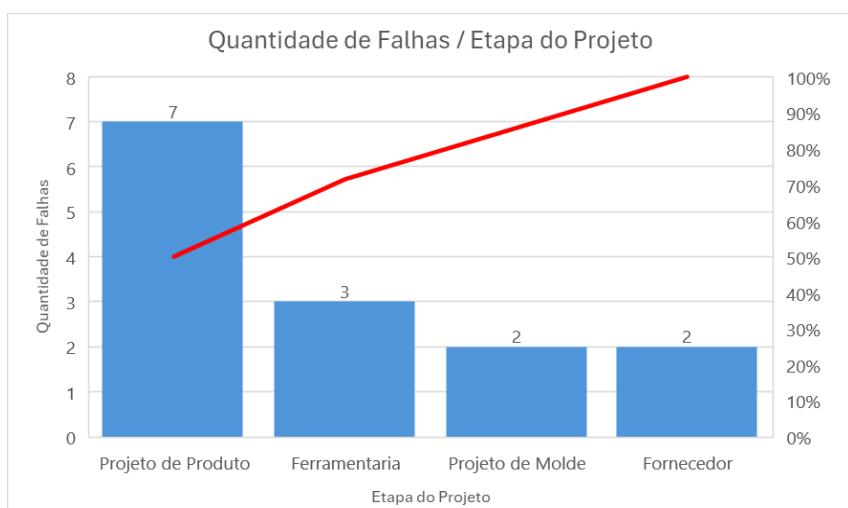
Fonte: Autores (2024).

Neste cenário, utilizando os fluxogramas e a matriz SIPOC, foi possível identificar as etapas com maior potencial falha, a montagem final do produto e a etapa de projeto. Esta última, também exige uma análise, já que influencia diretamente todo o processo produtivo, incluindo a montagem. Para isso, será necessário seguir para a próxima etapa da metodologia (medir) para comprovar a etapa com maior índice de falhas.

4.2 Etapa M - Measure (Medir)

Nesta etapa, o objetivo é coletar os dados para mensurá-los e, posteriormente, realizar a análise, a fim de identificar o principal problema a ser tratado. Com isso, podemos determinar onde o impacto será mais significativo ao abordar tal problema. Para essa análise, utilizou-se o Diagrama de Pareto conforme figura 8, com o propósito de organizar as ocorrências em ordem decrescente de frequência e identificar qual etapa do desenvolvimento do produto apresenta maior incidência de falhas.

Figura 8 - Diagrama de Pareto - Projeto de Produto



Fonte: Autores (2024).

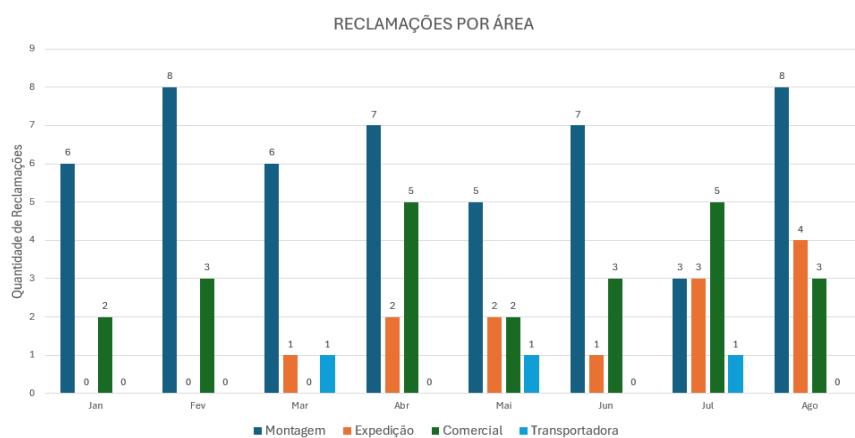
Com base nos dados apresentados na figura 8, a etapa com maior incidência de falhas no desenvolvimento de produto foi a 'Projeto de Produto', com sete ocorrências de um total de quatorze falhas, considerando quarenta e seis projetos desenvolvidos entre janeiro e agosto de 2024. Durante esse período, essas sete falhas resultaram em prejuízos financeiros superiores a R\$25.000,00, principalmente devido

aos retrabalhos gerados, além de causarem um atraso de dois meses no cronograma geral do portfólio de produtos no ano corrente.

Essa análise inicial indica que, se forem implementadas ações para mitigar as falhas na etapa de Projeto de Produto, os resultados poderão ser significativos, visto que essa é a primeira fase do processo de desenvolvimento e impacta diretamente as demais, exercendo uma influência crucial no resultado do produto.

O desenvolvimento de um novo produto começa a partir da identificação da necessidade do cliente e se encerra com o lançamento do produto no mercado. Nesse processo, o projeto do produto também abrange o projeto do processo produtivo, considerando as conexões entre as matérias-primas durante a produção, a definição dos produtos semiacabados e, principalmente, a etapa de montagem. A montagem é apoiada por treinamentos, fichas de controle, fluxos de trabalho padronizados e pela implementação de *poka-yokes* nos componentes, com o objetivo de evitar falhas nesse estágio. Durante as medições, constatou-se que o maior índice de falhas no processo produtivo ocorre na etapa de montagem final do produto, conforme mostrado na figura 9.

Figura 9 - Quantidade de reclamações por área



Fonte: Autores (2024).

Com base nos dados coletados e apresentados no indicador da figura 9, torna-se essencial realizar uma análise detalhada para identificar a causa raiz do problema. Essa análise é fundamental para o desenvolvimento de ações corretivas e preventivas que possam mitigar o problema identificado, impactando diretamente a qualidade do produto e, consequentemente, a satisfação do cliente.

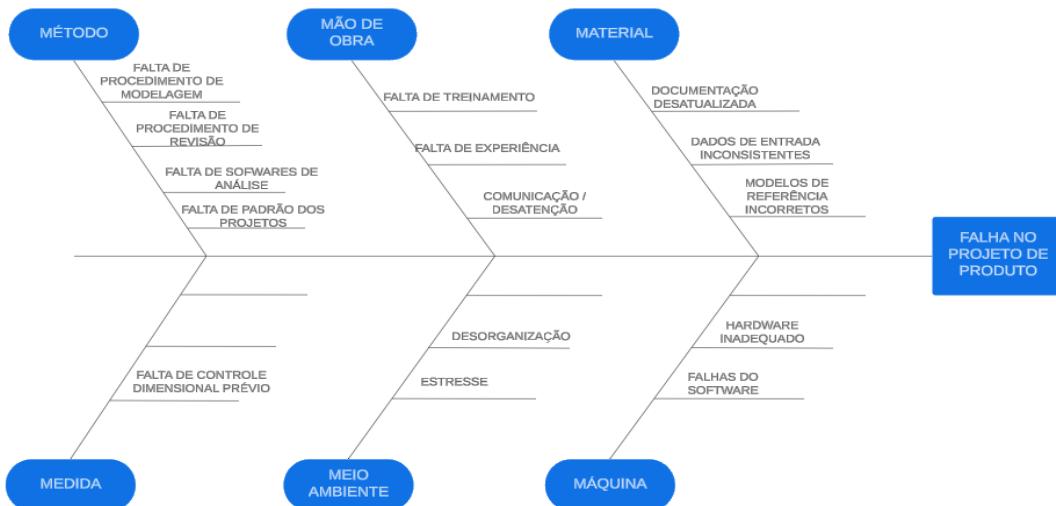
A investigação das causas raiz permite compreender não apenas os sintomas, mas também os fatores subjacentes que originam as falhas no processo produtivo. Esse processo envolve o uso de ferramentas como o Diagrama de Ishikawa ou a técnica dos '5 Porquês', que serão aplicadas na terceira etapa da metodologia DMAIC e que auxiliam na identificação dos principais pontos críticos. Com a implementação eficaz dessas ações corretivas, espera-se uma melhoria contínua na qualidade do produto, a redução de retrabalhos e desperdícios, além de um impacto positivo na eficiência operacional e nos prazos de entrega.

4.3 Etapa A - Analyze (Analisar)

Após a coleta de dados, constatou-se a existência de dois pontos críticos a serem tratados: o projeto de produto e a montagem final. Inicialmente, discutiu-se a possibilidade de que as falhas na montagem final pudessem ser decorrentes de problemas no projeto de produto, levantando a hipótese de que, ao solucionar a causa raiz do projeto, ambos os problemas seriam resolvidos. No entanto, a análise dos dados revelou que, mesmo nos casos em que o projeto de produto não apresentava falhas ou já havia sido corrigido, ainda ocorriam falhas na montagem final.

Dessa forma, os dados indicam que, para garantir o sucesso no desenvolvimento do produto, é necessário identificar e tratar as causas-raízes das falhas tanto na etapa de projeto de produto (início do projeto) quanto na etapa de montagem final (final do projeto). Esse processo visa aumentar o índice de assertividade em relação aos projetos anteriores. Para isso, foram utilizadas ferramentas de qualidade, como os '5 Porquês', Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT e Diagrama de relação, a fim de identificar as causas raiz das falhas nas duas etapas mencionadas. A figura 10 apresenta o diagrama de Ishikawa feito para a etapa de falha no projeto de produto e, posteriormente, também será apresentado para a etapa de montagem final incorreta.

Figura 10 - Diagrama de Ishikawa - Falha no projeto de produto



Fonte: Autores (2024).

Após a elaboração do Diagrama de Ishikawa, foram identificadas diversas causas potenciais, organizadas de acordo com os 6Ms (Método, Máquina, Mão de Obra, Material, Meio Ambiente e Medida), que poderiam estar contribuindo para o problema em questão. Diante da multiplicidade desses fatores, tornou-se essencial estabelecer uma ordem de prioridade para direcionar os esforços e recursos de maneira estratégica e eficiente. Para isso, a aplicação da Matriz GUT se fez necessária, que pode ser visto na Tabela 4, sendo preenchida atribuindo pesos a cada causa com base nos critérios de Gravidade, Urgência e Tendência, resultando em uma priorização das causas identificadas no Diagrama de Ishikawa.

Tabela 4 - Matriz GUT - Diagrama de Ishikawa - Falha no projeto de produto

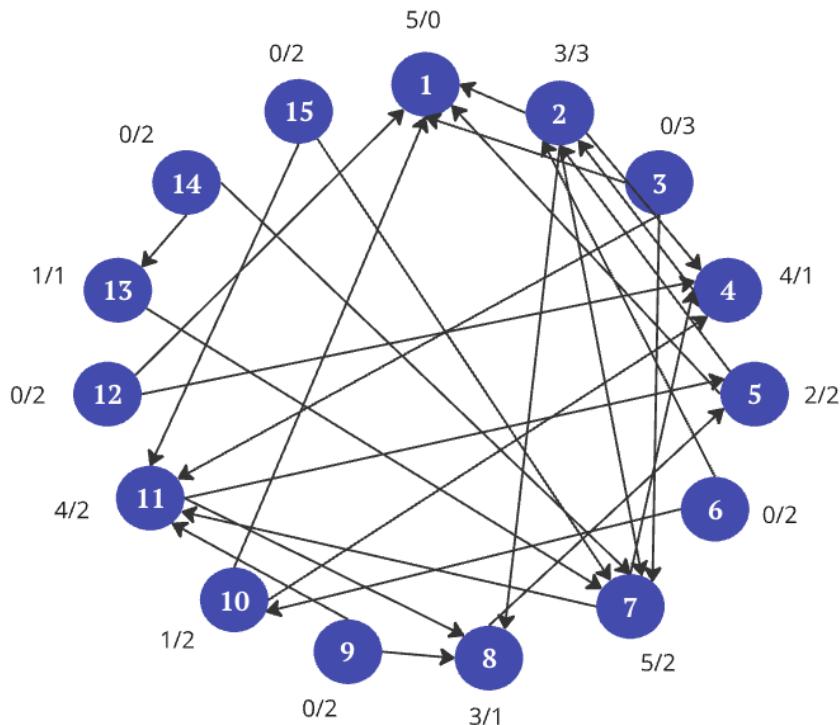
Matriz GUT					
Nº Causas	Causas	Grav.	Urg.	Tend.	Prioridade
1	Falta de controle dimensional	5	4	4	80
2	Dados de entrada inconsistentes	4	5	3	60
3	Falta de procedimento de modelagem	5	3	3	45
4	Comunicação / Desatenção	5	3	3	45

5	Falta de padrão de projetos	4	3	3	36
6	Falta de treinamento	4	3	3	36
7	Estresse	4	3	3	36
8	Modelos de referência incorretos	4	3	3	36
9	Falta de procedimento de revisão	3	2	3	18
10	Falta de experiência	3	2	3	18
11	Documentação desatualizada	3	3	2	18
12	Falta de Software de análises/simulações	2	2	3	12
13	Falhas de software	3	2	2	12
14	Hardware inadequado	2	2	2	8
15	Desorganização	2	2	2	8

Fonte: Autores (2024)

Além disso, para complementar essa análise, foi utilizado o Diagrama de Relação. Essa ferramenta possibilitou comparar as causas já identificadas com as demais ferramentas utilizadas, conforme ilustrado na figura 11. O Diagrama de Relação evidenciou as interconexões entre os fatores, ajudando a identificar quais causas têm maior influência sobre o sistema como um todo, garantindo um direcionamento ainda mais eficaz das ações corretivas.

Figura 11 - Diagrama de Relação – Falha no projeto de produto



Fonte: Autores (2024).

A combinação da análise da Matriz GUT com o Diagrama de Relação ofereceu uma visão abrangente das causas principais, e irá auxiliar na elaboração de um plano de ação focado em eliminar os problemas com maior impacto sobre o sistema. Isso garante a adoção de medidas corretivas prioritárias que possam melhorar significativamente a qualidade e a eficiência do processo produtivo.

No diagrama, cada item numerado representa uma falha ou causa identificada no processo conforme numeração da matriz de GUT, e as setas indicam como uma causa influencia as outras. Além disso, para as setas, foi quantificado a soma de entradas/saídas de cada item para concluir quais causas devem ser priorizadas. Assim, deve-se olhar os itens com mais “saídas”, que significa que são os maiores “causadores” dos problemas.

Como resultado, evidenciou-se que na etapa de falha no projeto de produto, as principais causas foram a falta de padronização e falta de instrução visual adequada.

No entanto, é importante destacar que essas causas podem representar apenas sintomas superficiais do problema e não necessariamente a causa raiz. Para identificar as causas fundamentais, utilizou-se a ferramenta dos 5 Porquês, conforme

Quadro 2, com o objetivo de aprofundar a análise e chegar à verdadeira origem dos problemas.

Quadro 2 - 5 Porquês - Principais causas de falha no projeto do produto

Causa	Porque 1?	Porque 2?	Porque 3?	Porque 4?	Porque 5?
Dados de entrada inconsistentes	Porque diferentes fontes de informação são utilizadas.	Porque cada hora uma pessoa passa uma informação nova.	Porque várias pessoas envolvidas no projeto recebem uma informação nova conforme o avanço do projeto.	Porque não há uma centralização da informação.	Porque não há um formulário padrão de preenchimento com todas as entradas necessárias.
Falta de procedimento de modelagem	Porque nunca foi criado um padrão ou guia para modelagem.	Porque a empresa não desenvolveu um documento para este fim.	Porque não foi priorizada esta ação nos projetos anteriores.	Porque havia um projetista mais experiente que fazia as conferências e faltou uma análise crítica do processo.	Porque faltou um mapeamento dos problemas gerados para criar um guia de modelagem.

Fonte: Autores (2024).

Após a aplicação da ferramenta dos 5 Porquês, foi possível perceber que as causas apontadas no Diagrama de Ishikawa e no Diagrama de Relação representavam, na verdade, apenas os sintomas do problema, e não suas causas-raízes. Por meio de uma análise mais profunda, as verdadeiras causas-raízes foram identificadas.

Em seguida, foi feito o mesmo processo utilizando as ferramentas da qualidade para a etapa montagem final incorreta, iniciando-se pela criação do Diagrama de Ishikawa, representado na Figura 12.

Figura 12 - Diagrama de Ishikawa - Montagem final incorreta



Fonte: Autores (2024).

Após a elaboração do Diagrama de Ishikawa para esta etapa, diversas causas potenciais para o problema foram identificadas. Assim, tornou-se necessário repetir os mesmos passos aplicados ao problema de projeto de produto mencionado anteriormente, a fim de priorizar essas causas. Para isso, foi utilizada a Matriz GUT, apresentada na Tabela 5.

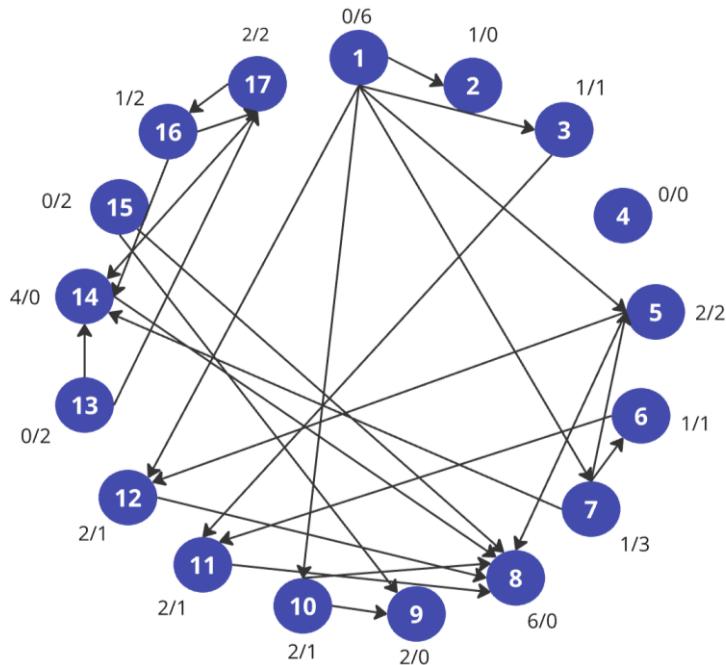
Tabela 5 - Matriz GUT - Diagrama de Ishikawa - Montagem final incorreta

Matriz GUT					
Nº Causas	Causas	Grav.	Urg.	Tend.	Prioridade
1	Falta de padronização	5	4	4	80
2	Falta de inspeção intermediária	5	4	4	80
3	Variação por troca de fornecedor	4	4	5	80
4	Falta de validação automática	5	4	4	80
5	Falta de inspeção visual	5	4	3	60
6	Falta de inspeção no recebimento	5	4	3	60
7	Falta de instrução visual adequada	4	3	4	48
8	Variação dimensional das peças	5	3	3	45
9	Ferramentas manuais / inadequadas	4	3	3	36
10	Falta de dispositivos de montagem com <i>poka-yokes</i>	4	3	3	36
11	Matéria-prima de baixa qualidade	4	4	2	32
12	Falta de CEP	3	3	3	27
13	Iluminação inadequada	3	3	3	27
14	Desatenção	4	3	2	24
15	Falta de experiência	3	2	3	18
16	Desorganização	3	2	2	12
17	Postos de trabalhos inadequados	2	2	2	8

Fonte: Autores (2024).

Para obter uma maior confiabilidade nos resultados, foi realizado o Diagrama de Relação, conforme ilustrado na Figura 13. Essa abordagem baseada em dados e inter-relações possibilita um tratamento mais profundo dos problemas, reduzindo a reincidência e garantindo um plano de ação mais robusto e direcionado.

Figura 13 - Diagrama de Relação – Montagem Final



Fonte: Autores (2024).

Após a elaboração do Diagrama de Relação, identificou-se que as causas com o maior número de saídas foram a falta de padronização e a ausência de instrução visual adequada.

Para garantir uma tratativa de forma eficaz e verificar qual é a real causa raiz para esse problema, seguiu-se os passos do problema anterior utilizando a ferramenta ‘5 porquês’, apresentado no Quadro 3. Ao solucionar essas causas, espera-se um impacto significativo na melhoria do processo.

Quadro 3 - 5 Porquês – Principais causas da montagem final incorreta

Causa	Porque 1?	Porque 2?	Porque 3?	Porque 4?	Porque 5?
Falta de padronização	Porque cada colaborador segue processos diferentes.	Porque o colaborador acaba não utilizando os fluxos de trabalho disponíveis.	Porque é utilizado fluxos de trabalho impressos que dificultam o processo de montagem.	Porque não há um sistema digital com instruções visuais e travas sistêmicas.	Porque não foi feita uma análise de impacto e melhorias no processo a longo prazo para implementação.
Falta de instrução visual adequada	Porque os colaboradores não estão seguindo corretamente os procedimentos de montagem.	Porque as instruções visuais são confusas e pouco detalhadas impressas em várias folhas de papel	Porque não houve um processo adequado de validação e melhoria das instruções antes de serem implementadas.	Porque o cronograma de lançamento do projeto estava apertado, priorizando a velocidade de entrega em detrimento da qualidade das instruções.	Porque a equipe responsável pela criação das instruções não teve tempo suficiente para realizar testes e ajustes em novos métodos

Fonte: Autores (2024).

Assim como no problema de projetos, após a aplicação da ferramenta dos 5 Porquês, percebeu-se que as causas inicialmente identificadas representavam apenas os sintomas do problema, e não suas causas-raízes. Com uma análise mais aprofundada, foi possível identificar as verdadeiras causas-raízes, o que possibilitou a criação de um plano de ação específico e direcionado, que será abordado na próxima etapa, *Improve*, da metodologia DMAIC.

4.4 Etapa I - Improve (Melhorar)

O plano de ação 5W2H definido é um dos principais instrumentos a serem aplicados nesta fase, servindo para organizar as melhorias de forma estruturada e direcionada. Cada ação tem objetivos claros de padronização e controle, como a criação de um caderno de encargos e a implementação de um procedimento padronizado para a modelagem de produtos. Além disso, a digitalização das instruções de montagem visa facilitar o acesso e a compreensão dos operadores, minimizando erros causados por instruções confusas e pouco detalhadas.

Essas ações estão detalhadas no Quadro 4, que apresenta o plano de ação estruturado, definindo responsabilidades, prazos e recursos necessários para a execução de cada etapa. Este quadro serve como uma referência fundamental para acompanhar e garantir a implementação eficaz das melhorias propostas.

Essas melhorias devem ser acompanhadas pela aplicação do DFMEA para avaliar e mitigar riscos potenciais no *design* do produto, assegurando a consistência e a durabilidade das melhorias implementadas. Ao final desta fase, é esperado que as ações (Quadro 4) resultem em uma redução significativa de falhas e em um aumento na eficiência do processo de produção, garantindo que o produto atenda às expectativas de qualidade e confiabilidade exigidas pelo mercado.

Quadro 4 - Plano de Ação 5W2H

CAUSA	O QUE (WHAT)	POR QUE (WHY)	QUEM (WHO)	QUANDO (WHEN)	ONDE (WHERE)	COMO (HOW)	QUANTO CUSTA (HOW MUCH)	EVIDÊNCIA
Dados de entrada inconsistentes	Criar caderno de encargos para desenvolvimento de projetos	Padronizar as informações de entrada para os projetos	Engenheiro de Projetos	nov/24	Engenharia	Definir os requisitos e objetivos do projeto, listar os recursos necessários, incluir padrões de qualidade, segurança e manter documentação atualizada.	-	Anexo 1
Falta de procedimento de modelagem	Criar IT ou FTP para modelagem de produto	Padronizar modelagem dos pontos críticos	Engenheiro de Processos	nov/24	Engenharia	Descrever cada etapa da modelagem do produto, adicionar imagens e especificações técnicas.	-	Anexo 2
Falta de padronização	Padronizar o processo de montagem	Padronizar o processo produtivo	Equipe de Qualidade	nov/24	Linha de Montagem	<ul style="list-style-type: none"> • Mapear o processo atual de montagem. • Identificar etapas que podem ser otimizadas. • Documentar novo procedimento. • Treinar operação. 	-	Anexo 5
Falta de instrução visual adequada	Criar FTP digital para processo de montagem	Facilitar o entendimento do colaborador na linha de montagem	Supervisor de Produção	nov/24	Linha de Montagem	Transformar documentação do processo de montagem em formato digital.	R\$4.000,00	Anexo 3 e 4

Fonte: Autores (2024)

4.5 Etapa C - Control (Controlar)

A etapa de controle visa consolidar as melhorias implementadas durante o projeto e garantir a manutenção dos resultados alcançados. Nesta fase, foram adotados mecanismos robustos de monitoramento e controle, que promovem a sustentabilidade das ações realizadas.

Uma das melhorias mais significativas foi a formalização e padronização das entradas de dados para o projeto de produto. Anteriormente, as informações eram fornecidas de maneira informal, o que gerava inconsistências e retrabalhos. Com a implementação de um *checklist*, agora há um processo estruturado que deve ser realizado antes e depois do desenvolvimento do projeto. Este *checklist* é registrado digitalmente, permitindo que toda a equipe de projetos tenha acesso às informações atualizadas e organizadas.

Outro avanço foi a introdução de um *checklist* de conferência entre a ferramentaria e o projetista, eliminando falhas na validação dos moldes. Agora, todas as conferências são realizadas em conjunto antes e depois de cada molde, com registros digitais acessíveis pela equipe de projetos. Essa prática assegura maior confiabilidade no processo e reduz a incidência de falhas no desenvolvimento do produto.

Na linha de montagem, as instruções de trabalho impressas foram substituídas por um sistema supervisório digital. Este novo sistema digitaliza o passo a passo do processo de montagem, integrando o controle dos produtos, quantidades e produtividade. A digitalização não apenas facilita o entendimento dos operadores, mas também aumenta a eficiência, reduz erros e melhora o controle operacional.

Por fim, essas melhorias estão sendo monitoradas por meio de indicadores-chave, auditorias periódicas e *feedback* contínuo, garantindo a manutenção da qualidade e a busca pela excelência operacional. Essa abordagem integrada contribui para um ambiente de trabalho mais eficiente e alinhado às expectativas do mercado automotivo.

4.6 Discussões sobre o desenvolvimento do DMAIC

A aplicação da metodologia DMAIC revelou-se eficaz na identificação das principais falhas no desenvolvimento do farol *Full LED*, com destaque para as etapas de projeto do produto e montagem final. A análise permitiu não apenas a localização dos problemas, mas também o entendimento da complexidade e interdependência entre essas etapas. A constatação de que falhas na montagem ocorriam mesmo em projetos já corrigidos indicou que os problemas não estavam necessariamente concentrados em uma única fase, mas eram resultado de fatores distintos e, em muitos casos, sistêmicos.

A identificação das causas-raízes foi feita com o apoio de ferramentas como Diagrama de Ishikawa, Matriz GUT, Diagrama de Relação e os 5 Porquês. A partir dessas análises, foi possível perceber que a ausência de padronização e de instruções visuais adequadas estavam no cerne das falhas mais recorrentes, tanto no projeto quanto na montagem. As soluções propostas envolveram desde a criação de novos procedimentos até a digitalização das instruções de trabalho.

Essas ações estão em consonância com a literatura, como apontado por Shankar (2009) e Sokovic *et al.* (2010), que defendem a importância de processos padronizados, treinamento contínuo e sistemas digitais para garantir a excelência operacional. No entanto, os resultados obtidos também vão além das abordagens clássicas, ao revelar que fatores organizacionais — como a comunicação entre departamentos e a resistência à mudança — influenciam diretamente a eficácia das soluções propostas.

Um achado particularmente relevante foi a resistência inicial dos operadores à digitalização das instruções de montagem. Mesmo com a nova interface mais clara e estruturada, alguns colaboradores demonstraram dificuldades de adaptação. Isso evidencia a necessidade de ações paralelas de gestão da mudança e capacitação contínua, especialmente quando se trata de inovação tecnológica no chão de fábrica. Esses aspectos, ainda pouco explorados na aplicação do DMAIC, merecem atenção em projetos futuros.

Outro ponto inesperado foi a constatação de que falhas de comunicação entre os setores impactavam significativamente a qualidade final do produto, revelando a importância de mecanismos formais e eficazes de troca de informações durante todo

o ciclo de desenvolvimento. A simples implementação de melhorias técnicas não foi suficiente para garantir o sucesso do projeto; foi preciso também repensar práticas de integração e colaboração.

Embora os dados quantitativos de impacto (como redução de falhas ou aumento de produtividade) ainda estejam em fase de monitoramento, observações qualitativas já indicam ganhos relevantes, como maior autonomia dos operadores, redução de retrabalho e aumento na conformidade com os procedimentos padronizados, conforme evidenciado nas auditorias internas.

Dessa forma, os resultados reforçam a eficácia do DMAIC como ferramenta estruturada de melhoria contínua, mas também revelam que seu sucesso está condicionado a uma abordagem sistêmica, que considere as dimensões técnicas, humanas e organizacionais do processo produtivo. Essa compreensão amplia o escopo de aplicação da metodologia, indicando caminhos promissores para estudos futuros.

5 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou o potencial da metodologia DMAIC como ferramenta eficaz na identificação e correção de falhas no desenvolvimento de faróis *Full LED*. A utilização de ferramentas da qualidade permitiu abordar problemas recorrentes nas etapas de projeto e montagem, com destaque para a padronização de processos e a digitalização das instruções de trabalho.

Embora a implementação ainda esteja em fase parcial, os indícios iniciais apontam melhorias na eficiência e redução de retrabalhos, alinhando-se às práticas de excelência operacional na indústria automotiva. A experiência também evidenciou desafios relacionados à adoção de novas tecnologias pelos operadores, destacando a importância do fator humano em processos de mudança.

Entre as limitações, destaca-se o escopo restrito da aplicação, tanto em termos de tempo quanto de abrangência, e a ausência de dados quantitativos consolidados para medir os impactos das ações.

Como continuidade, recomenda-se a aplicação integral do ciclo DMAIC em novos projetos e a inclusão de métricas de desempenho que permitam avaliar os ganhos de forma mensurável. Além disso, estudos futuros podem aprofundar a análise

de barreiras culturais e operacionais na adoção de soluções digitais no chão de fábrica.

6 ANEXOS

Anexo 1 - Fragmento do *checklist* de conferência de produto

CHECKLIST DE CONFERÊNCIA DE PRODUTO	
1. Análise do produto (FMEA)	5. Tensão do produto
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Realizado <input type="radio"/> Não Realizado 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> 12V <input type="radio"/> 24V <input type="radio"/> 12V/24V
Observação:	
2. Modelo utilizado como base	Observação:
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Original <input type="radio"/> Paralelo <input type="radio"/> Importado <input type="radio"/> Produto novo OEM 	6. Aplicação do produto (marca, modelo e ano do caminhão) <ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Realizado <input type="radio"/> Não realizado
Observação:	
3. Dispositivo Luminoso	7. Análise do tipo de molde*
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> LED <input type="radio"/> Lâmpada <input type="radio"/> LED e Lâmpada 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Molde novo <input type="radio"/> Molde usado
Observação:	
4. Funções do produto	8. Análise do código do produto e SKUs
<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Neblina Traseira <input type="radio"/> Posição Traseira <input type="radio"/> Freio <input type="radio"/> Indicadora de direção <input type="radio"/> Marcha-à-Ré <input type="radio"/> Refletivo <input type="radio"/> Farol alto <input type="radio"/> Delimitadora Frontal 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Realizado <input type="radio"/> Não Realizado
Observação:	
9. Houve participação dos consultores	10. Análise das folgas do modelo
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não
Observação:	
11. Análise das dimensões da placa de LED	12. Análise das dimensões da placa de LED
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Realizado <input type="radio"/> Não Realizado <input type="radio"/> Não aplicável
Observação:	
13. Análise das partes de fixação do modelo	14. Análise do método de colagem ou soldagem do modelo
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Realizado <input type="radio"/> Não Realizado
Observação:	
15. Em caso de colagem, a dimensão do canal de cola foi analisada pensando na quantidade de cola	16. Em caso de soldagem, o friso de solda foi colocado do lado do sonotrodo
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Realizado <input type="radio"/> Não Realizado <input type="radio"/> Não aplicável
Observação:	
17. Análise das marcações do produto	18. Em caso de utilização do terminal, análise do datasheet com o produto
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Realizado <input type="radio"/> Não Realizado <input type="radio"/> Não aplicável
Observação:	
19. Análise dos polímeros utilizados	20. Dimensões e furações da placa de LED estão compatíveis com o produto
	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> ABS <input type="radio"/> SAN <input type="radio"/> PMMA <input type="radio"/> PC <input type="radio"/> PA <input type="radio"/> PP 40T <input type="radio"/> POM <input type="radio"/> PPS <input type="radio"/> PVC
Observação:	

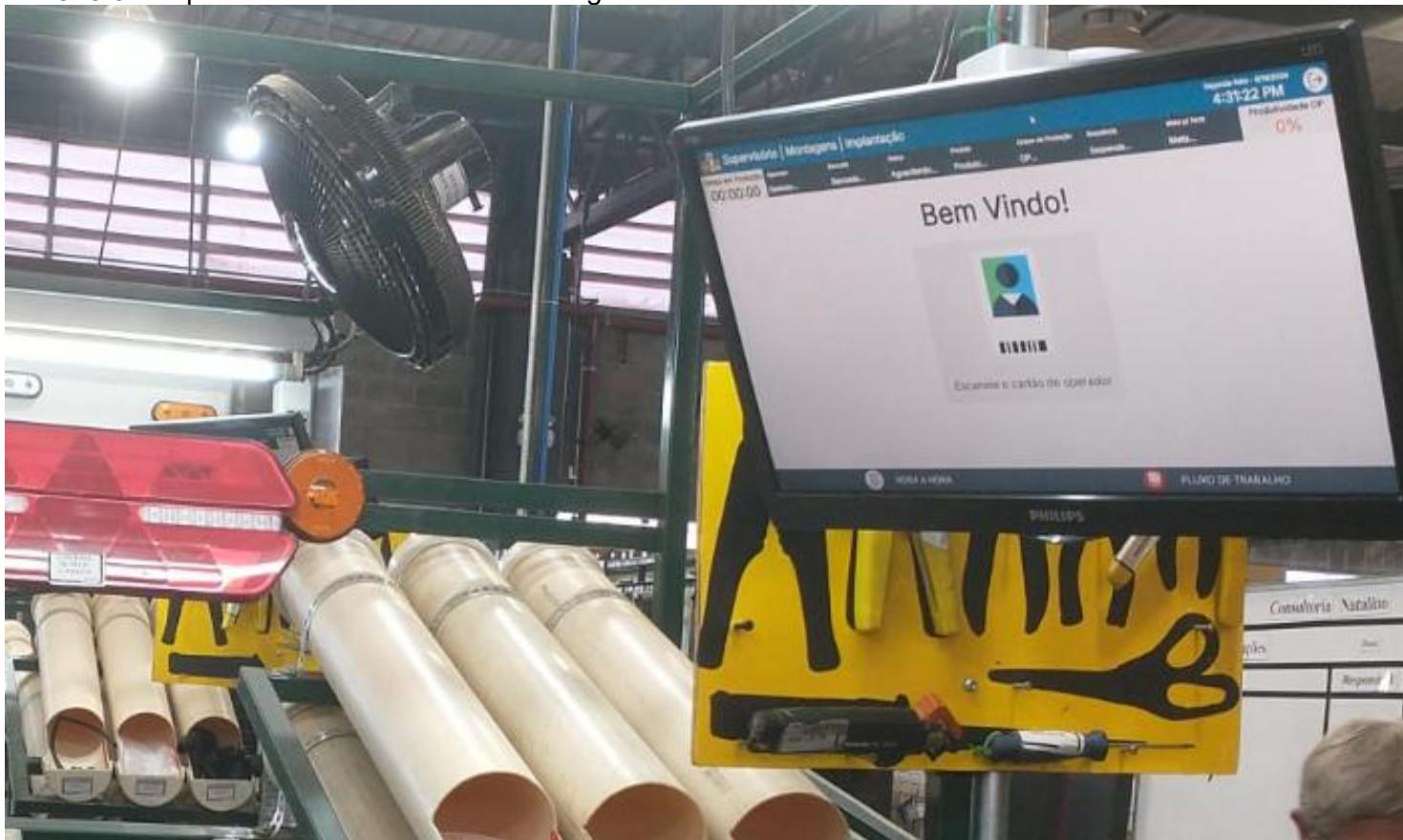
Fonte: Autores 2024.

Anexo 2 - Fragmento do checklist de conferência de ferramental

CHECKLIST DE CONFERÊNCIA DE FERRAMENTAL		CHECKLIST DE CONFERÊNCIA DE FERRAMENTAL	
<p>1. Análise do material plástico usado e contração</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> PC C. 0,6% <input type="checkbox"/> PS C. 0,5% <input type="checkbox"/> ABS C. 0,6% <input type="checkbox"/> PP C.1,8% <input type="checkbox"/> ABS C. 0,6% <p>Observações: Material utilizado foi o XX, contração de 0,00%</p>	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Realizado <input type="checkbox"/> Não Realizado <p>[] Outro</p>	<p>cabeças dos pinos extratores/parafusos de corpo retificado</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Realizado <input type="checkbox"/> Não Realizado <p>Observações:</p>	
<p>2. Análise do número de cavidades</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Realizado <input type="checkbox"/> Não Realizado <p>Observações: Molde com x cavidades iguais/distintas.</p>	<p>Observações: Análise realizada e molde não apresenta garra.</p>	<p>5. Análise de permanência da peça no lado da extração</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Realizado <input type="checkbox"/> Não Realizado <p>Observações: Realizada e molde não apresenta garra.</p>	<p>10. Verificação do alojamento parafuso de corpo retificado</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Realizado <input type="checkbox"/> Não Realizado <p>Observações:</p>
<p>3. O molde deve trabalhar com temperatura elevada? Foi inserido na lista de compra de materiais bico para entrada de água quente no molde?</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não aplicável 	<p>Observações:</p>	<p>6. Necessidade de usinagem de puxador</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <p>Observações:</p>	<p>11. Necessidade de travamento dos pinos extratores para evitar o giro e possibilidade de usinagem deles na posição.</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Não aplicável <p>Observações:</p>
<p>7. Análise das medidas externas do molde</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Realizado <input type="checkbox"/> Não Realizado 	<p>Observações: Vai ser injetado na Pradolux – Ver injetora com Kléber</p>	<p>12. Necessidade de molas na extração (Caso houver Curso)</p>	<p>13. Necessidade de centralizadores no molde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <p>14. Análise dos canais de injeção e preenchimento das cavidades</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Bico Quente <input type="checkbox"/> Manifold <input type="checkbox"/> Bucha Fria (Aço Especial) <input type="checkbox"/> Bucha Fria (Aço AISI 1045) <p>Observações:</p>
			<p>15. Necessidade de calota de injeção para bico quente:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não aplicável <p>Observações:</p>
			<p>16. Análise do sistema de refrigeração</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Realizado

Fonte: Autores 2024.

Anexo 3 - Supervisório na bancada de montagem

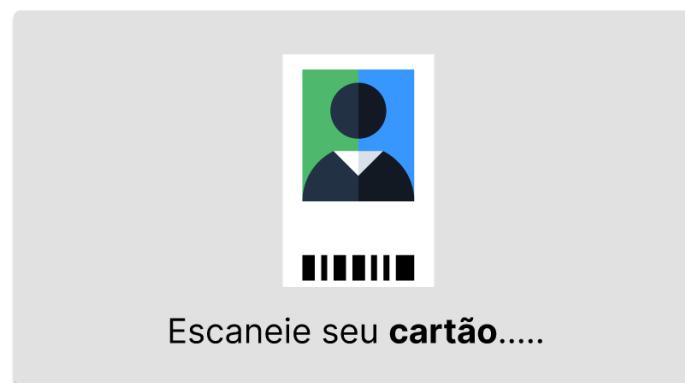


Fonte: Autores 2024.

Anexo 4 - Fragmento do sistema supervisório

Supervisório Montagens			
Tempo em Produção	Status	Produto	Operador
00:00:00	Aguardando operador...	Aguardando produto...	Aguardando operador...

Bem-Vindo



Fonte: Autores 2024.

Anexo 5 - Fragmento da instrução de trabalho digitalizada

SEQ	ELEMENTOS	FRL-TR / PL70400122		
1	Pegar um chicote PI7040-CHI.		1	
2	Pegar um módulo LED PI7040-DRIVER-RES.		2	
3	Pegar o PI 7040D-CAR-ROF.		3	
OBS	Para a peça esquerda, pegar o PI 7040E-CAR-ROF.			
4	Passar os fios do chicote pelo buraco indicado na carcaça, conforme imagem.		4	
5	Encaixar o conector do chicote, seguindo o Poka Yoke indicado na imagem.		4.1	
6	Encaixar o conector macho do chicote (que possui um fio vermelho e um preto) no conector fêmea do módulo LED (que possui dois fios vermelhos e um branco).		5	
			5.1	
			6	
			6.1	

Fonte: Autores 2024.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, B.; FAGERHAUG, T. **Root cause analysis**: simplified tools techniques. Milwaukee: ASQ Quality Press, 2000.
- ANDRADE, G. P. D. **Proposta de implementação da ferramenta DMAIC para redução de riscos de acidentes em cabines de aplicação de verniz e lixamento**: um estudo de caso em uma fábrica de móveis. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019.
- CAMPOS, L. M. F. **Administração pública estratégica**: planejamento, ferramentas e implantação. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 22 set. 2024.
- CAMPOS, V. F. **TQC**: controle da qualidade total no estilo japonês. 9. ed. Nova Lima, MG: Falconi, 2014. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 15 set. 2024.
- DA SILVA GOMES, F. et al. The main benefits of application of Six Sigma for productive excellence. **Quality Innovation Prosperity**, v. 26, n. 3, p. 151–167, 2022.
- DA SILVA SANTOS, D. et al. Utilização da metodologia DMAIC para redução de tempo de setup em linha de retífica em fábrica de rolamentos. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 11, p. 7364–7376, 2024.
- DE MAST, J.; LOKKERBOL, J. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. **International Journal of Production Economics**, v. 139, n. 2, p. 604–614, 2012.
- DE SÁ FREIRE, P.; KEMPNER-MOREIRA, F.; MARGHERITA, A. Multi-level governance and emergency management: building a priority assessment matrix in the pandemic outbreak. **Sustainability**, v. 15, n. 7, p. 5836, 2023.
- GALLEGOS, R. A. P. **Ferramentas de gestão voltadas para melhoria da qualidade nas empresas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Freitas Barros, 2023.
- GONZÁLEZ, H. G.; PRADO, C. A. E. Aplicação da ferramenta SIPOC à cadeia de fornecimento interno de uma empresa distribuidora de medicamentos. **Revista Lumen Gentium**, v. 2, p. 119–134, 2021.
- KOCH, R. **O princípio 80/20**: os segredos para conseguir mais com menos nos negócios e na vida. Belo Horizonte: Gutenberg, 2015.
- LINS, A. C. C. **Utilização do método MASP para melhoria de produtividade em uma linha de produção de biscoitos**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.

MAIA, P. A.; MELO, V. A.; DIAS, D. N. B. A importância da precificação para as micro e pequenas empresas: um estudo de caso numa empresa do ramo alimentício. **Revista Produção Online**, v. 23, n. 4, p. 4996, 2024.

MINETTO, B. **O que é DMAIC?** Blog da Qualidade, 21 jun. 2018. Disponível em: <https://blogdaqualidade.com.br/o-que-e-dmaic/>. Acesso em: 16 maio 2025.

MIZUNO, S. **Management for quality improvement: the seven new QC tools.** Cambridge: Productivity Press, 1988.

MONDAY, L. M. Define, measure, analyze, improve, control (DMAIC) methodology as a roadmap in quality improvement. **Global Journal of Quality and Safety in Healthcare**, v. 5, p. 44–46, 2022.

NOVASKI, V.; FREITAS, J. L.; BILLIG, O. A. Aplicação de matriz GUT e gráfico de Pareto para priorização de perdas no processo produtivo de uma panificadora. **International Journal of Development Research**, v. 10, p. 42203–42207, 2020.

NSHIRIM, E. S.; NWAGWU, U. Integrated approach to process improvement: value engineering, lean methodology, SIPOC and value stream mapping. **International Journal of Applied and Natural Sciences**, v. 1, n. 1, p. 58–66, 2023.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production.** New York: Productivity Press, 1988.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

PINTO, E. O. et al. Estudo preliminar de riscos ambientais através da matriz intestinal: aplicação em cozinha industrial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 42, p. e12622, 2022.

PYZDEK, T. **The Six Sigma handbook: a complete guide for Green Belts, Black Belts, and managers at all levels.** New York: McGraw-Hill, 2003.

RABELLO, G. **Como utilizar a matriz GUT ou matriz de priorização de processos?** Siteware, 08 maio 2025. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/metodologias/matriz-gut/>. Acesso em: 16 maio 2025.

RAJAN, G.; MATHOOR, G. N. Application of Ishikawa diagram on error management: with reference to Infosys Limited, Pune. **Madhya Pradesh Journal of Social Sciences**, v. 28, n. 1, 2023.

SANTOS, P. H. **Diagrama ER é uma ferramenta voltada ao ensino de modelagem de dados.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SÁTYRO, N. G. D.; D'ALBUQUERQUE, R. W. O que é um estudo de caso e quais as suas potencialidades. **Sociedade e Cultura**, v. 23, 2020.

SOARES, V. **Diagrama de Ishikawa**: o que é, para que serve e como utilizá-lo. Na Prática, 25 jun. 2024. Disponível em: <https://napratica.org.br/diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 16 maio 2025.

SOKOVIC, M.; PAVLETIC, D.; KERN, K. P. Quality improvement methodologies – PDCA cycle, radar matrix, DMAIC and DFSS. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 43, n. 1, p. 311–329, 2010.

SORDI, J. O. et al. Competências críticas ao desenvolvimento de mapas cognitivos de redes interorganizacionais. **Revista de Administração Pública**, 2009.

Biografia do(s) autor(es)

Flávio Paulino

Técnico em Eletrônica e Técnico em Eletrotécnica, graduando em Engenharia Elétrica pela PUC Minas – campus Poços de Caldas. Atua desde 2018 no setor automotivo, com experiência nas áreas de produção, processos, engenharia e gerenciamento de projetos de novos produtos, com foco em desenvolvimento industrial, validação técnica e interface entre áreas multidisciplinares. Possui interesse em pesquisas relacionadas à engenharia de produção, automação de processos, desenvolvimento de produtos e melhoria contínua em ambientes industriais.

Johny Barbosa

Graduando em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica (PUC Minas), campus Poços de Caldas, atualmente no 9º período. É técnico em Eletrotécnica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Atua profissionalmente na área de manutenção de usinas hidrelétricas e fotovoltaicas, com experiência prática em sistemas de geração de energia.

Nicolle Alves

Graduanda em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), Campus Poços de Caldas, com experiência profissional nas áreas de melhoria contínua e manutenção em uma indústria de frascos plásticos. Atuou em projetos acadêmicos e aplicados com foco na análise e otimização de processos e na avaliação de viabilidade financeira. Possui interesse em pesquisas relacionadas à Engenharia de Produção, projetos, qualidade e melhoria contínua em ambientes industriais.

Thiago Pimentel

Graduando em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Possui interesse nas áreas de planejamento e controle da produção, gestão da qualidade e processos organizacionais. Atua em projetos acadêmicos e práticos voltados à análise de processos, melhoria contínua e tomada de decisão gerencial.

Washington Braga

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), com área de concentração em Sistemas de Produção e Logística, mestre em Engenharia de Produção e especialista em Qualidade e Produtividade. Graduado em Engenharia Civil pela PUC Minas. Atua como professor nos cursos de Engenharia de Produção da PUC Minas – Campus Poços de Caldas e da FATEC Mococa. Possui mais de 20 anos de experiência no ensino de graduação e pós-graduação/MBA e mais de 30 anos de atuação profissional na área de

Engenharia de Produção, com ênfase em produção industrial, gestão da cadeia de suprimentos, Lean Manufacturing, gestão da qualidade e pesquisa operacional.



Artigo recebido em: 09/12/2024 e aceito para publicação em: 28/05/2025
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v25i4.5515>