

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
CAMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA

**THAIS FLORIANO DA SILVA**

**Aplicação do Método DMAIC para Redução da Divergência entre  
Horas Planejadas e Efetivas nos Testes de Motores e Geradores Elétricos**

São João da Boa Vista

2025

**Thais Floriano da Silva**

**Aplicação do Método DMAIC para Redução da Divergência entre  
Horas Planejadas e Efetivas nos Testes de Motores e Geradores Elétricos**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Aeronáutica do Campus de São João da Boa Vista, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Aeronáutica .

Orientador: Profº Dr. Lucas Daniel Del Rosso Calache

São João da Boa Vista  
2025

S586a      Silva, Thais Floriano  
Aplicação do método DMAIC para redução da  
divergência entre horas planejadas e efetivas nos testes de  
motores e geradores elétricos / Thais Floriano Silva. -- São  
João da Boa Vista, 2025  
54 p. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado -  
Engenharia Aeronáutica) - Universidade Estadual Paulista  
(UNESP), Faculdade de Engenharia, São João da Boa  
Vista  
Orientador: Lucas Daniel Del Rosso Calache

1. Dínamos. 2. Engenharia. 3. Engenharia aeroespacial.  
Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados  
f. Título.      fornecidos pelo autor(a).

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AERONÁUTICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA REDUÇÃO DA DIVERGÊNCIA ENTRE  
HORAS PLANEJADAS E EFETIVAS NOS TESTES DE MOTORES E GERADORES  
ELÉTRICOS**

Aluno: Thais Floriano da Silva

Orientador: Prof. Dr. Lucas Daniel Del Rosso Calache

Banca Examinadora:

- Lucas Daniel Del Rosso Calache (Orientador)
- Denilson Paulo Souza dos Santos (Examinador)
- Murilo Sartorato (Examinador)

Os formulários de avaliação e a ata da defesa, na qual consta a aprovação do trabalho, devidamente assinados pela banca encontram-se no prontuário eletrônico do aluno.

São João da Boa Vista, 29 de julho de 2025

Dedico este trabalho a minha familia.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, João e Márcia, por me proporcionarem a oportunidade de cursar o ensino superior, pelo incentivo constante, por acreditarem em mim e por todo o apoio, emocional, financeiro e prático ao longo dessa jornada.

Às minhas irmãs, Geovana e Cinthia, sou grata por estarem sempre ao meu lado, com empatia, apoio e carinho, mesmo com a distância física.

Ao meu namorado, Matheus, agradeço profundamente pelo companheirismo, suporte, amor, paciência, cuidado e por acreditar em mim em todos os momentos.

Agradeço também aos estagiários da empresa onde atuei, pela parceria, colaboração e por contribuírem ativamente na execução deste trabalho ao meu lado.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Lucas Daniel Del Rosso Calache, deixo meu sincero agradecimento por acreditar no meu potencial, pela orientação atenciosa, paciência e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço aos amigos que fiz ao longo da graduação, que tornaram essa trajetória mais leve e significativa. Agradeço também a todos os professores e funcionários da UNESP Câmpus de São João da Boa Vista, que contribuíram diretamente para a minha formação pessoal e profissional.

*“Um pessimista vê uma dificuldade em cada oportunidade,  
um otimista vê uma oportunidade em cada dificuldade.”  
(Winston Churchill)*

## RESUMO

A energia elétrica é essencial para a sociedade contemporânea, sendo indispensável para a realização de atividades cotidianas, industriais e tecnológicas. No Brasil, embora a matriz energética ainda dependa majoritariamente de fontes hidrelétricas, a crescente demanda por eficiência energética e sustentabilidade tem impulsionado o desenvolvimento e a melhoria de equipamentos como motores e geradores elétricos. Nesse cenário, a otimização dos processos industriais, especialmente os testes aplicados a esses equipamentos, torna-se fundamental para garantir produtividade, padronização e uso racional dos recursos. Diante disso, este trabalho foi desenvolvido em uma empresa fabricante de motores e geradores elétricos de médio e grande porte, onde se identificou uma significativa divergência entre as horas planejadas e as efetivamente utilizadas nos testes de processo. Essa discrepância gerava impactos diretos nos custos e na eficiência da produção. Dado esse problema, o objetivo deste estudo é propor melhorias no procedimento de testes de processo, utilizando o método de melhoria contínua DMAIC. A metodologia envolveu a aplicação de ferramentas da qualidade como cronoanálise, estratificação, folha de verificação, fluxograma, diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa, 5 Porquês e 5W2H. Essas ferramentas permitiram identificar as principais causas das divergências de tempo e propor ações corretivas. Como resultado, foi possível reduzir significativamente o tempo dos testes analisados: o Surge Test Full Stator, originalmente planejado para 2 horas, foi executado em 0,75 hora (redução de 62,5% e economia de R\$ 429,84 por unidade), enquanto o Surge Test Additional Coil, com previsão de 4 horas, foi realizado em apenas 0,25 hora (redução de 93,75% e economia de R\$ 1.289,51 por unidade). Os ganhos superaram a meta de 30% de redução estabelecida no team charter do projeto. Além disso, a criação de uma planilha de controle possibilitou o registro contínuo das horas medidas, apoiando a padronização dos procedimentos, a revisão de documentos técnicos e a tomada de decisões baseadas em dados reais. O estudo evidencia, assim, a relevância da abordagem de melhoria contínua e do uso de ferramentas da qualidade na otimização de processos industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** DMAIC; cronoanálise; testes de processo; melhoria contínua; ferramentas da qualidade.

## ABSTRACT

Electric energy is essential to contemporary society, being indispensable for carrying out everyday, industrial, and technological activities. In Brazil, although the energy matrix still relies heavily on hydroelectric sources, the growing demand for energy efficiency and sustainability has driven the development and improvement of equipment such as electric motors and generators. In this context, optimizing industrial processes—especially testing procedures for such equipment—is key to ensuring productivity, standardization, and rational use of resources. This study was conducted at a company that manufactures medium and large electric motors and generators, where a significant discrepancy was identified between the planned and actual hours used in process testing. This deviation had a direct impact on costs and production efficiency. Given this issue, the objective of the study is to propose improvements to the process testing procedures using the DMAIC continuous improvement method. The methodology involved the application of quality tools such as time studies (chronoanalysis), stratification, check sheets, flowcharts, Pareto charts, Ishikawa diagrams, 5 Whys, and 5W2H. These tools made it possible to identify the root causes of time deviations and propose corrective actions. As a result, a significant reduction in test durations was achieved: the Surge Test Full Stator, initially planned for 2 hours, was completed in 0.75 hours (a 62.5% reduction and a cost saving of R\$ 429.84 per unit), while the Surge Test Additional Coil, planned for 4 hours, was performed in just 0.25 hours (a 93.75% reduction and a cost saving of R\$ 1,289.51 per unit). These improvements surpassed the 30% reduction target established in the project team charter. Additionally, a control spreadsheet was created to continuously track measured times, supporting workflow standardization, technical documentation updates, and data-driven decision-making. This study reinforces the importance of continuous improvement and quality tools in optimizing industrial processes.

**KEYWORDS:** DMAIC; chronoanalysis; process testing; continuous improvement; quality tools.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Processo de fabricação de um motor elétrico	13
Figura 2	Gerador de corrente contínua	18
Figura 3	Exemplo de folha de verificação	23
Figura 4	Exemplo histograma normal	24
Figura 5	Exemplo de gráfico de Pareto	26
Figura 6	Diagrama de Ishikawa	27
Figura 7	Símbolos do fluxograma	30
Figura 8	Etapas DMAIC	32
Figura 9	<i>Team charter</i>	37
Figura 10	Fluxograma antes da implementação do DMAIC	39
Figura 11	Frequência dos testes realizados no motor / gerador	41
Figura 12	Aplicação do Diagrama de Ishikawa	43
Figura 13	Fluxograma após a implementação do DMAIC	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – 5W2H . . . . .	45
Tabela 2 – Resultado da aplicação da cronoanálise . . . . .	48

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>17</b>
3.1	Motores e geradores	17
3.2	Métodos de melhoria continua	19
3.3	DMAIC	19
3.4	Ferramentas da qualidade	21
3.4.1	Estratificação	21
3.4.2	Folha de verificação	22
3.4.3	Histograma	23
3.4.4	Diagrama de Pareto	24
3.4.5	Diagrama de Ishikawa	26
3.4.6	5 Porquês	28
3.4.7	5W2H	28
3.4.8	Fluxograma	29
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>31</b>
4.1	Definir (Define)	33
4.2	Medir (Measure)	33
4.3	Analisar (Analyze)	34
4.4	Melhorar (Improve)	34
4.5	Controlar (Control)	35
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MELHORIA CONTINUA DMAIC</b>	<b>36</b>
5.1	Resultados da etapa Definir	36
5.2	Resultados da etapa Medir	38
5.3	Resultados da etapa Analisar	42
5.4	Resultados da etapa Melhorar	45
5.5	Resultados da etapa Controlar	46
5.5.1	Atualização do Fluxograma e Documentação	46
5.5.2	Cronoanálise	48
5.5.3	Planilha de Controle do Projeto	49
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>50</b>
6.1	Contribuições do estudo	50
6.2	Limitações e desafios do estudo	50

6.3 Oportunidades de estudos futuros . . . . . 51

**REFERÊNCIAS** . . . . . 52

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica tornou-se um dos recursos mais essenciais para a sociedade moderna, sendo indispensável para o funcionamento de praticamente todas as atividades humanas, seja para comunicação, tarefas domésticas, operações industriais, dentre tantas outras utilidades. (RAMOS et al., 2020)

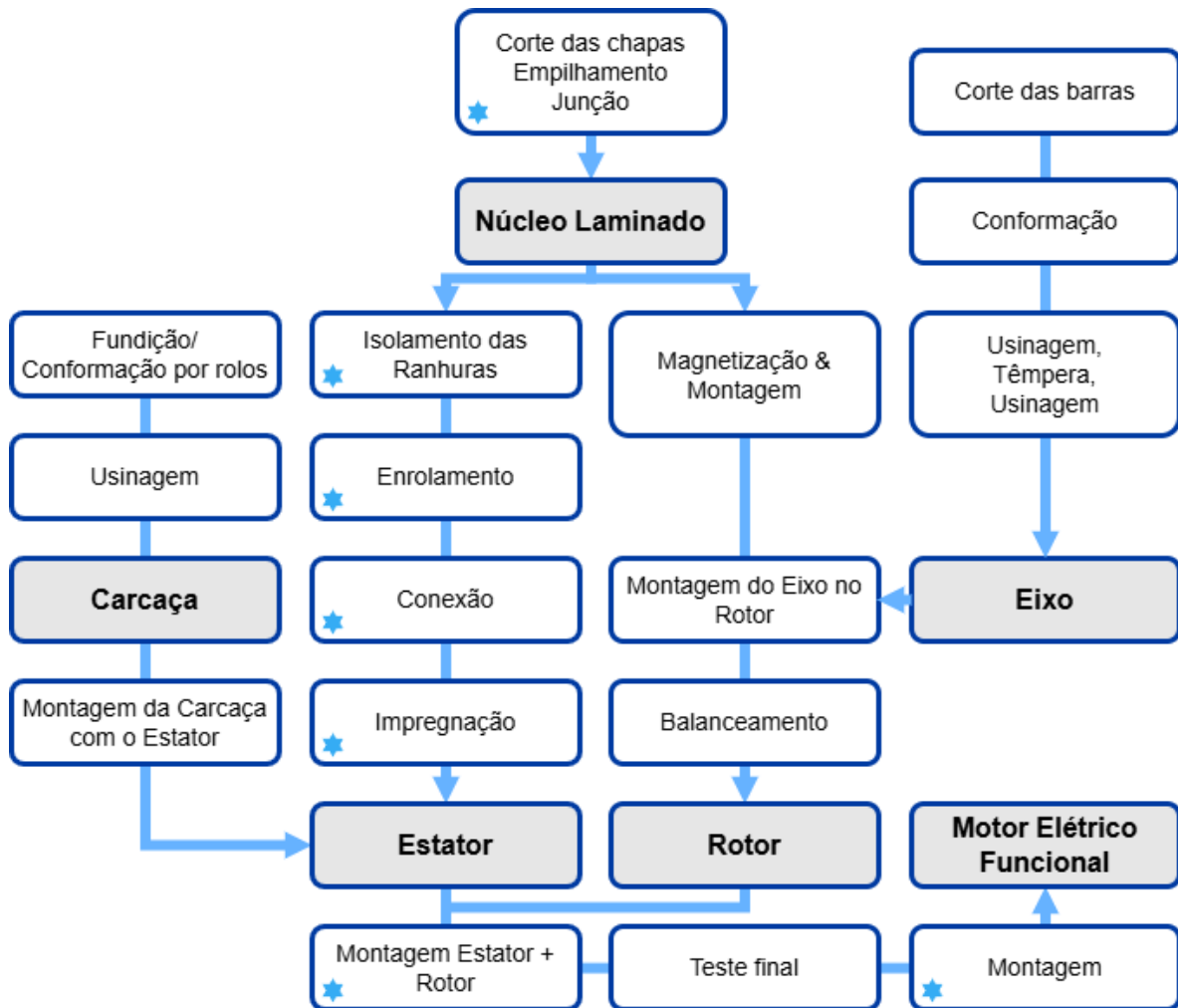
Atualmente, existem diversas formas de gerar energia elétrica, como por meio de usinas hidrelétricas, termoeletricas, sistemas solares, eólicos e também por grupos geradores, que são equipamentos produzidos para ter alto desempenho e segurança durante o processo de trabalho e são compostos basicamente por um motor e um alternador e sua funcionalidade é converter energia mecânica em energia elétrica. (RAMOS et al., 2020)

A matriz energética brasileira é predominantemente baseada na geração hidrelétrica (Ember Energy, 2025), considerada uma das formas mais limpas e econômicas de produção de eletricidade. No entanto, como destaca (VILLAR, 2006), o potencial hidrelétrico do país encontra-se praticamente esgotado, o que impulsiona a necessidade de diversificação das fontes de energia e o aprimoramento dos processos industriais relacionados à geração elétrica.

Nesse contexto, motores e geradores elétricos desempenham um papel fundamental, especialmente diante da crescente demanda por soluções energéticas mais eficientes e sustentáveis. Assim, torna-se essencial otimizar os processos de teste e validação desses equipamentos, reduzindo a divergência entre o tempo planejado e o tempo efetivamente utilizado, o que contribui diretamente para a melhoria da produtividade e o uso racional de recursos. (VILLAR, 2006)

A imagem a seguir, traz uma visão geral dos processos envolvidos na produção de motores elétricos.

Figura 1 – Processo de fabricação de um motor elétrico



fonte: baseado em (ZHANG et al., 2021).

A figura 1 mostra que produção de motores elétricos é submetida há diversos processos até sua finalização. Em algumas etapas de fabricação há intervenção humana, pois a complexidade dessas operações as torna fortemente dependentes de habilidades manuais de alta destreza e experiência. (RODRIGUES; FONSECA, 2011) No entanto, a execução de processos com abordagem manual, embora essencial, está associada a riscos relevantes. Em ambientes industriais, processos de montagem manual demonstram alta incidência de erros como seleção incorreta de peças, aplicação inadequada de torque ou contaminação, refletindo diretamente na qualidade e confiabilidade do produto final o que aumenta a probabilidade de falhas no processo (TORRES; NADEAU; LANDAU, 2021).

Atualmente, para manter uma alta precisão de controle e as tolerâncias exigidas da máquina, testes são realizados em várias etapas durante a fabricação e a montagem, como simulação de carga, medição de torque, vibração, perdas e eficiência. A detecção de um defeito a partir desses ensaios no final do processo pode resultar em perda significativa de tempo e custos em consequência de retrabalho ou descarte. A solução para assegurar que os produtos atendam às especificações exigidas pelos clientes, garantindo confiabilidade e desempenho adequado em suas aplicações reside no monitoramento dos processos, especialmente para operações manuais propensas a erros (RODRIGUES; FONSECA, 2011). Nesse contexto, torna-se fundamental a adoção de abordagens estruturadas para promover melhorias

de forma contínua e eficaz

As metodologias de melhoria contínua são usualmente utilizadas por organizações que buscam a melhoria em seus processos, produtos e serviços, promovendo maior eficiência operacional, qualidade e redução de desperdícios. Dentre as metodologias existentes, destacam-se o PDCA (Plan, Do, Check e Act), o MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) e o DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve e Control), que fornecem abordagens estruturadas para a identificação de falhas, implementação de soluções e padronização de processos. Segundo estudos brasileiros de múltiplos casos, a aplicação sistemática dessas metodologias em projetos industriais tem gerado resultados significativos, ao promover aprendizado organizacional, envolvimento dos colaboradores e ganhos sustentáveis de desempenho em diferentes níveis produtivos (OPRIME; MONSANTO; DONADONE, 2010). Ao seguir etapas bem definidas, essas ferramentas auxiliam empresas a transformar dados em decisões assertivas, favorecendo a melhoria contínua dos processos e o aumento da competitividade no mercado.

Dentro dessas metodologias, destacam-se as ferramentas da qualidade, que desempenham um papel fundamental no suporte analítico e na condução estruturada das ações de melhoria. Ferramentas como o Diagrama de Ishikawa, os 5 Porquês, o histograma, o gráfico de Pareto e o diagrama de dispersão são aplicadas nas diferentes fases dos ciclos de melhoria, auxiliando na identificação de causas raiz, na visualização de dados e no controle de variáveis críticas do processo (SILVA; PEREIRA; SANTOS, 2015). O uso apropriado dessas ferramentas contribui para uma tomada de decisão mais precisa, baseada em dados e evidências, ao longo das fases de diagnóstico e intervenção.

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia dessas metodologias em ambientes industriais. Por exemplo, o ciclo PDCA e o método MASP foram empregados com sucesso na redução de perdas e falhas em processos produtivos em empresas do setor metalúrgico, com impactos positivos na produtividade e na qualidade (VIEIRA; MAÇADA, 2009). Da mesma forma, a metodologia DMAIC, integrada ao ciclo PDCA e aos fundamentos do gerenciamento de processos de negócios (BPM), foi aplicada em uma empresa de móveis, evidenciando ganhos em eficiência, alinhamento de processos e melhoria na entrega de valor ao cliente (FILHO; SOUZA; ALVES, 2020). Esses exemplos reforçam a aplicabilidade e a versatilidade das metodologias de melhoria contínua, bem como a importância de se utilizar ferramentas técnicas como suporte para a transformação e o aperfeiçoamento de processos organizacionais.

Nos processos industriais voltados à produção e teste de motores e geradores elétricos, a eficiência operacional representa um fator essencial para garantir a competitividade e a qualidade dos produtos entregues ao mercado. Uma das dificuldades frequentemente observadas nesse contexto é a divergência entre o tempo planejado para a realização dos testes e o tempo efetivamente despendido na execução das atividades, o que pode comprometer a produtividade e elevar os custos operacionais. Variações nos tempos de processo e falhas no controle dessas etapas impactam diretamente o desempenho industrial, reforçando a importância do planejamento preciso e da padronização dos procedimentos produtivos. (COROA; COSTA; ALMEIDA, 2010)

Apesar da existência de diversas metodologias de melhoria contínua, este estudo tem como foco o DMAIC, uma abordagem reconhecida por seu forte embasamento estatístico e por sua eficácia na

redução da variabilidade dos processos. Quando o objetivo é controlar e diminuir essa variabilidade, o DMAIC destaca-se como a metodologia mais indicada. Além disso, é adotado como uma prática de gestão orientada à melhoria da lucratividade organizacional. Entre os principais benefícios de sua aplicação estão: o alinhamento dos processos, a redução de desperdícios e falhas, o aumento da produtividade e da qualidade, bem como a melhoria no atendimento às necessidades e expectativas dos clientes. (CARPINETTI; SILVA, 2018)

O presente trabalho se passa em uma grande empresa localizada no Brasil, fabricante de motores e geradores, onde foi identificada uma discrepância entre as horas planejadas e as efetivamente utilizadas nos testes de processo, resultando em custos adicionais e impactando a eficiência da linha de produção. Tal inconsistência evidencia a necessidade de uma abordagem sistemática para analisar as causas do desvio, revisar os métodos aplicados e aprimorar o planejamento e a execução dos testes. Para isso, será aplicada a metodologia de melhoria contínua DMAIC, com o apoio de ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Ishikawa e os 5 Porquês, além da realização de cronoanálises em testes selecionados. Espera-se, ao final do estudo, propor melhorias que reduzam as divergências de tempo, promovam a padronização dos procedimentos, atualizem a documentação técnica e aumentem a confiabilidade das informações utilizadas no planejamento dos testes de processo.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta os objetivos do estudo; o Capítulo 3 traz a revisão da literatura sobre as ferramentas e metodologias utilizadas; o Capítulo 4 descreve os materiais e métodos adotados na pesquisa; o Capítulo 5 apresenta a aplicação prática da metodologia DMAIC no caso estudado; e o Capítulo 6 traz as conclusões, contribuições, limitações e sugestões para estudos futuros.

## 2 OBJETIVO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral avaliar o procedimento de testes de processo em motores e geradores elétricos de médio e grande porte e propor melhorias no processo por meio da metodologia de melhoria contínua: o DMAIC, a fim de verificar a precisão da medição do tempo planejado em comparação com o tempo efetivamente executado. Além disso, busca-se revisar e reestruturar o fluxo de testes com base na identificação das causas das divergências, propondo melhorias que otimizem o processo e aumentem a confiabilidade das informações utilizadas no planejamento.

Para isso, foi estabelecido os seguintes objetivos específicos:

- Coletar e analisar dados históricos dos testes de processo, considerando o tempo planejado e o tempo real de execução;
- Mapear o fluxo de trabalho atual dos testes de processo, identificando gargalos e oportunidades de melhoria;
- Investigar as causas das divergências entre os tempos planejados e os realizados, utilizando ferramentas como o Diagrama de Ishikawa e a técnica dos 5 Porquês;
- Propor melhorias baseadas na metodologia DMAIC, com foco na padronização e otimização dos testes de processo;
- Atualizar e padronizar os documentos e registros relacionados aos testes de processo, com base nos resultados obtidos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

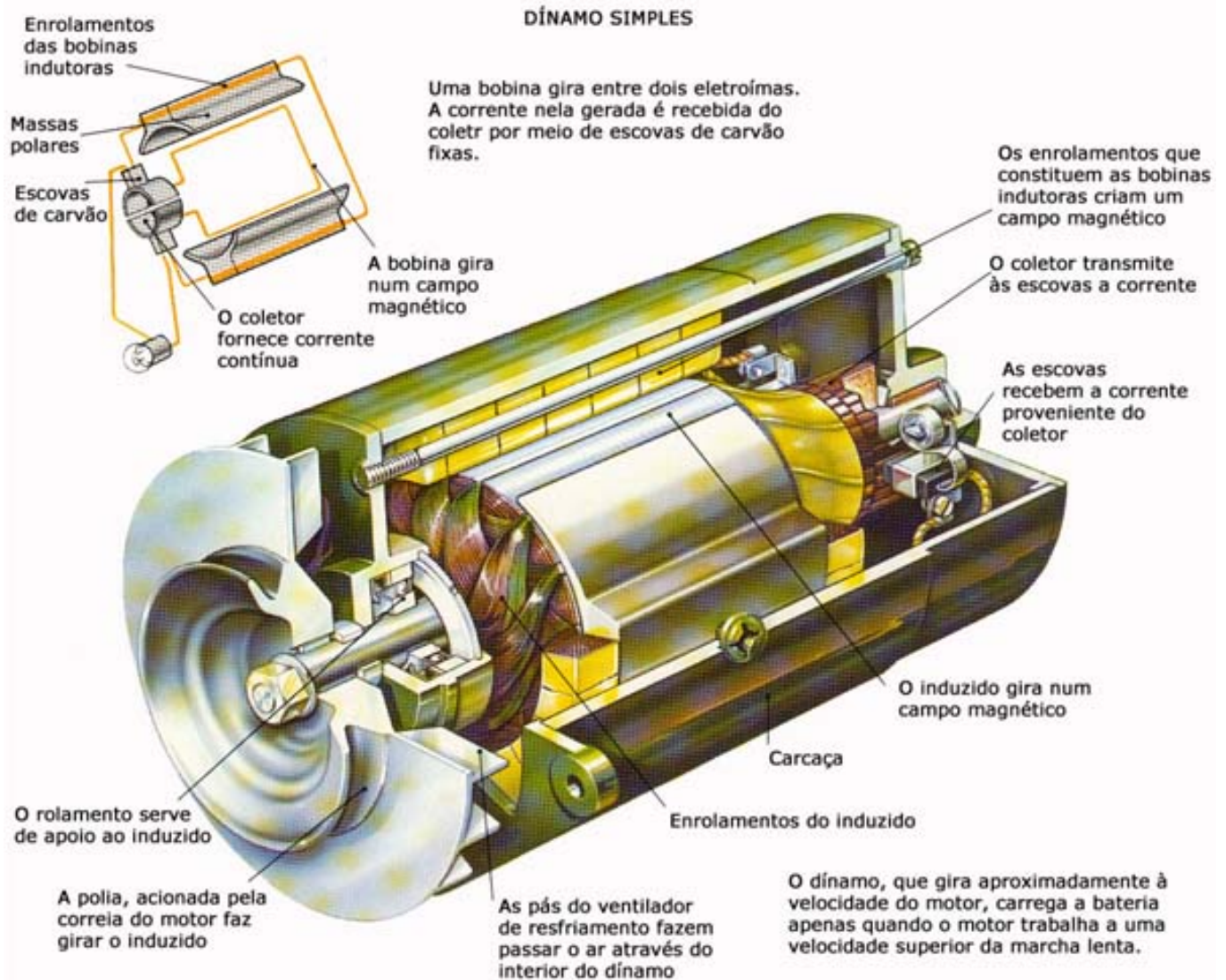
O presente estudo foi conduzido considerando motores e geradores elétricos de médio e grande porte. Esses equipamentos desempenham um papel essencial na conversão de energia, sendo amplamente utilizados em aplicações industriais e de geração de energia. A seguir, apresenta-se uma visão geral de sua funcionalidade e principais características, de modo a contextualizar sua importância para o setor e para o desenvolvimento deste trabalho.

#### 3.1 MOTORES E GERADORES

Motores elétricos são máquinas que convertem energia elétrica em energia mecânica, proporcionando movimento rotacional para diversas aplicações industriais, comerciais e domésticas. Segundo (CARDOSO, 2010), o princípio fundamental de funcionamento de um motor elétrico baseia-se na interação entre campos magnéticos produzidos por correntes elétricas, que geram forças capazes de movimentar um rotor. Essa conversão de energia é essencial para a automação e operação de equipamentos, desde pequenos aparelhos até grandes sistemas industriais.

Por outro lado, geradores elétricos realizam o processo inverso: convertem energia mecânica em energia elétrica. Conforme (GOMES, 2012), os geradores funcionam por meio da indução eletromagnética, onde o movimento relativo entre um campo magnético e uma bobina induz uma corrente elétrica. Eles são indispensáveis para a produção de energia em usinas hidrelétricas, termoelétricas e outras fontes de energia, fornecendo eletricidade para uma ampla gama de aplicações.

Figura 2 – Gerador de corrente contínua



fonte: baseado em (Ensinando Elétrica, 2016).

Como visto na figura 2, o funcionamento dos motores e geradores envolve componentes principais como o estator, que produz o campo magnético fixo, e o rotor, que se movimenta em resposta a esse campo. A eficiência e o desempenho desses equipamentos dependem de um projeto cuidadoso, incluindo o controle de perdas elétricas e mecânicas, além da manutenção adequada. Ambos são fundamentais para o sistema energético moderno, pois permitem a transformação eficiente da energia para diferentes finalidades, garantindo a confiabilidade e a continuidade no fornecimento de energia elétrica (CARDOSO, 2010; GOMES, 2012).

Para alcançar o objetivo deste estudo, que é garantir a qualidade e a eficiência desses processos complexos, é fundamental recorrer a metodologias de melhoria contínua, como o PDCA, o MASP e o DMAIC, que oferecem abordagens estruturadas para análise e otimização de processos.

Diversas metodologias vêm sendo amplamente utilizadas para estruturar e sistematizar a melhoria contínua nas organizações, tais como o ciclo PDCA, o método DMAIC e o MASP. Essas abordagens, apresentadas a seguir, se destacam por sua aplicabilidade em diferentes setores e pela ênfase em qualidade, padronização e eficiência.

### 3.2 MÉTODOS DE MELHORIA CONTINUA

O ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), desenvolvido por Walter Shewhart e amplamente difundido, é um modelo iterativo utilizado para promover melhorias contínuas em processos. Sua aplicação envolve o planejamento das ações, execução, verificação dos resultados e padronização das melhorias implementadas, sendo eficaz em diversas áreas industriais (CAMPOS, 2004).

O MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) é uma abordagem sequencial para melhoria contínua, originada do QC-Story japonês e amplamente implementada no Brasil. Estruturado em oito etapas: identificação do problema, observação, análise, plano de ação, execução, verificação, padronização e conclusão, o MASP proporciona uma abordagem científica e preditiva, ideal para solucionar problemas estruturados e eliminar suas causas de forma sustentável. (JÚNIOR, 2016)

Outra metodologia estruturada é o DMAIC, amplamente utilizado no Seis Sigma. A sigla em inglês representa as etapas Define, Measure, Analyze, Improve e Control. Essa abordagem visa resolver problemas complexos por meio da definição clara do problema, mensuração de dados, análise de causas, implementação de melhorias e controle dos resultados obtidos (PYZDEK; KELLER, 2010).

A aplicação combinada dessas metodologias contribui significativamente para a padronização de processos, identificação de falhas, redução de desperdícios e melhoria da qualidade de produtos e serviços.

Neste trabalho, optou-se pela aplicação da metodologia DMAIC como principal abordagem, uma vez que seu foco está na redução da variabilidade e no aprimoramento sistemático dos processos. A subseção a seguir detalha as etapas que compõem essa metodologia e justifica sua escolha para o desenvolvimento da pesquisa.

### 3.3 DMAIC

O DMAIC é uma metodologia estruturada de melhoria contínua amplamente utilizada dentro da filosofia Six Sigma para otimizar processos, reduzir variações e eliminar desperdícios. Popularizado por (HARRY; SCHROEDER, 2000) como parte do movimento seis sigma, o DMAIC tornou-se essencial para organizações que buscam excelência operacional, pois permite a redução significativa de defeitos e desperdícios, aumentando a qualidade e a eficiência. Sua aplicação é comum em diferentes setores da indústria e serviços, como saúde, logística e manufatura (HANSEN, 2010; FERREIRA; SILVA; MESQUITA, 2013; MCPHERSON; SINGH; THOMAS, 2022). O que distingue o DMAIC é sua abordagem disciplinada e orientada a dados, o que o torna aplicável a uma ampla gama de contextos industriais. Conforme (BHARGAVA; GAUR, 2021), o DMAIC consiste em cinco etapas principais: Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. Cada fase possui objetivos específicos que orientam a resolução de problemas de forma sistemática e eficaz, sendo apresentadas a seguir:

- Definir

Nesta etapa, além da caracterização do problema, são definidos o escopo do projeto, as metas a serem alcançadas, os membros da equipe responsável pela condução da melhoria e os principais *stakeholders* (partes interessadas). Para isso, é comum a utilização de ferramentas como o *Project Charter* (termo de abertura do projeto), o diagrama SIPOC (Fornecedores, Entradas, Processo,

Saídas e Clientes) e a análise da Voz do Cliente, que ajudam a compreender as necessidades dos clientes e traduzir essas expectativas em requisitos claros para o projeto (American Society for Quality, 2025; UNIVERSITY, 2025).

A clareza proporcionada pela fase Definir é essencial para direcionar os esforços da equipe, estabelecer prioridades e evitar retrabalhos, além de facilitar o acompanhamento dos resultados ao longo das próximas etapas do ciclo DMAIC.

- Medir

Para alcançar esses objetivos, são aplicadas diversas ferramentas estatísticas e de gestão da qualidade, como o mapeamento de processos, o gráfico de Pareto e a análise de capacidade. Essas ferramentas permitem visualizar o fluxo atual, identificar pontos críticos e entender onde ocorrem os principais desvios ou desperdícios (American Society for Quality, 2025; MAP, 2025).

Além disso, a fase Medir fornece os dados necessários para embasar a etapa seguinte do ciclo DMAIC, permitindo uma compreensão detalhada do comportamento do processo e das suas principais fontes de variação. A confiabilidade das informações obtidas é fundamental para assegurar que as análises realizadas posteriormente sejam consistentes, contribuindo para decisões mais assertivas e estratégias de melhoria bem direcionadas.

- Analisar

A fase Analisar tem como principal objetivo investigar e compreender as causas raízes das variações, falhas ou desvios identificados na etapa anterior. É nesse momento que se busca explicar por que o problema ocorre, utilizando uma abordagem analítica baseada em evidências. Para isso, são aplicadas ferramentas como o Diagrama de Ishikawa e a técnica dos 5 Porquês, que auxiliam na visualização e estruturação das possíveis causas, além de métodos estatísticos que permitem validar correlações entre variáveis e identificar fatores críticos de impacto no desempenho do processo (American Society for Quality, 2025; MAP, 2025).

Após o levantamento das causas potenciais, é realizada uma análise criteriosa para determinar quais são as causas mais relevantes e que efetivamente contribuem para o problema. O detalhamento dessa investigação é fundamental para garantir que as soluções futuras sejam direcionadas corretamente, evitando ações paliativas e promovendo melhorias sustentáveis.

- Melhorar

Na etapa Melhorar, são propostas, testadas e implementadas soluções com base nas causas raízes identificadas na fase anterior. O foco está em promover a otimização do processo por meio da eliminação ou mitigação dos fatores críticos que geram falhas ou variabilidade. Para isso, ferramentas como *brainstorming* (tempestade de ideias), ciclos rápidos de melhoria (Kaizen), planejamento de experimentos e o ciclo PDCA podem ser empregadas para apoiar a geração de ideias e a validação das mudanças propostas antes da implementação definitiva (MAP, 2025; Cleveland State University, 2025).

Inicialmente, ideias são levantadas por meio de técnicas colaborativas, como o *brainstorming*, que possibilita a geração de múltiplas soluções potenciais de forma criativa e participativa. Após essa etapa, as ideias são analisadas quanto à viabilidade, impacto e recursos necessários. As soluções selecionadas são, então, colocadas em prática de forma controlada, permitindo observar seus efeitos sobre o processo. Quando necessário, ciclos de melhoria rápida são aplicados para ajustes e refinamentos, garantindo que a implementação ocorra de forma eficiente e com base em dados concretos. Essa fase é essencial para assegurar que as ações de melhoria realmente solucionem os problemas identificados, promovendo ganhos sustentáveis em eficiência, qualidade e previsibilidade do processo.

- **Controlar**

A fase Controlar tem como objetivo assegurar a manutenção das melhorias alcançadas na etapa anterior, garantindo a sustentabilidade dos resultados ao longo do tempo. Para isso, são estabelecidos novos procedimentos, padrões de desempenho e rotinas de monitoramento que permitem acompanhar o comportamento do processo após as mudanças implementadas.

Práticas como a padronização dos processos, auditorias internas periódicas, o uso de gráficos de controle estatístico (SPC) e o monitoramento contínuo são fundamentais para evitar a reincidência de problemas e garantir que os ganhos em eficiência e qualidade sejam preservados (American Society for Quality, 2025; MAP, 2025). Além disso, esta fase prevê a reavaliação das mudanças realizadas e o redesenho das ações, caso seja necessário, promovendo uma melhoria contínua e adaptativa ao longo do tempo.

Dessa forma, o DMAIC oferece uma estrutura robusta para identificar, corrigir e controlar problemas complexos em processos produtivos, alinhando-se ao objetivo de reduzir a diferença entre as horas planejadas e efetivas nos testes de processo em motores e geradores, contribuindo para a melhoria contínua e maior competitividade da empresa.

### 3.4 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

A seguir, são apresentadas as ferramentas da qualidade. Essas são empregadas na identificação e análise das causas das divergências observadas no processo estudado.

#### 3.4.1 Estratificação

A estratificação é uma ferramenta da qualidade utilizada na coleta e análise de dados com o objetivo de identificar padrões e entender como diferentes fatores influenciam os resultados de um processo. Essa técnica consiste em dividir um conjunto de dados em subgrupos, com base em características específicas, como turno de produção, operador, linha de fabricação, fornecedor de matéria-prima, entre outros. (CARPINETTI, 2016)

Ao aplicar a estratificação, é possível observar como a variação desses fatores afeta diretamente o desempenho do processo, auxiliando na identificação e priorização de problemas. Por exemplo, podem ser analisadas diferenças nos resultados entre os turnos de trabalho, entre operadores distintos ou ainda

conforme o tipo de matéria-prima utilizada. Essa abordagem permite uma investigação mais precisa das causas das variações, tornando o processo de tomada de decisão mais eficiente. (CARPINETTI, 2016)

Para que a estratificação seja eficaz, é essencial que a origem dos dados esteja bem documentada durante a coleta, incluindo informações como datas, horários, máquinas em operação, operadores envolvidos e condições ambientais. Além disso, recomenda-se que os dados sejam coletados por um período representativo, de modo a possibilitar análises mais completas ao longo do tempo. (CARPINETTI, 2016)

Dessa forma, a estratificação se mostra uma ferramenta valiosa nas fases de observação e análise de dados, contribuindo significativamente para a compreensão das variabilidades nos processos produtivos e para o direcionamento de ações corretivas com maior assertividade (CARPINETTI, 2016).

### 3.4.2 Folha de verificação

A folha de verificação, também conhecida como *checklist* (lista de Verificação) ou lista de checagem, é uma ferramenta fundamental da qualidade, amplamente utilizada para planejar e registrar a coleta de dados de forma padronizada, objetiva e eficiente. Sua principal função é organizar o processo de coleta, permitindo que as informações sejam registradas de maneira clara, evitando retrabalho e facilitando análises futuras (CARPINETTI, 2016).

Em geral, trata-se de um formulário estruturado em que os itens a serem observados já estão previamente definidos. Ao ser utilizada durante a coleta, a folha vai compondo um histórico de dados que permite identificar comportamentos recorrentes, tendências e oportunidades de melhoria (MARIANI, 2007). Entre os formatos mais comuns estão os formulários voltados para:

- Distribuição de um item de controle de processo com limites específicos;
- Classificação de defeitos;
- Controle de frequência de falhas ou ocorrências.

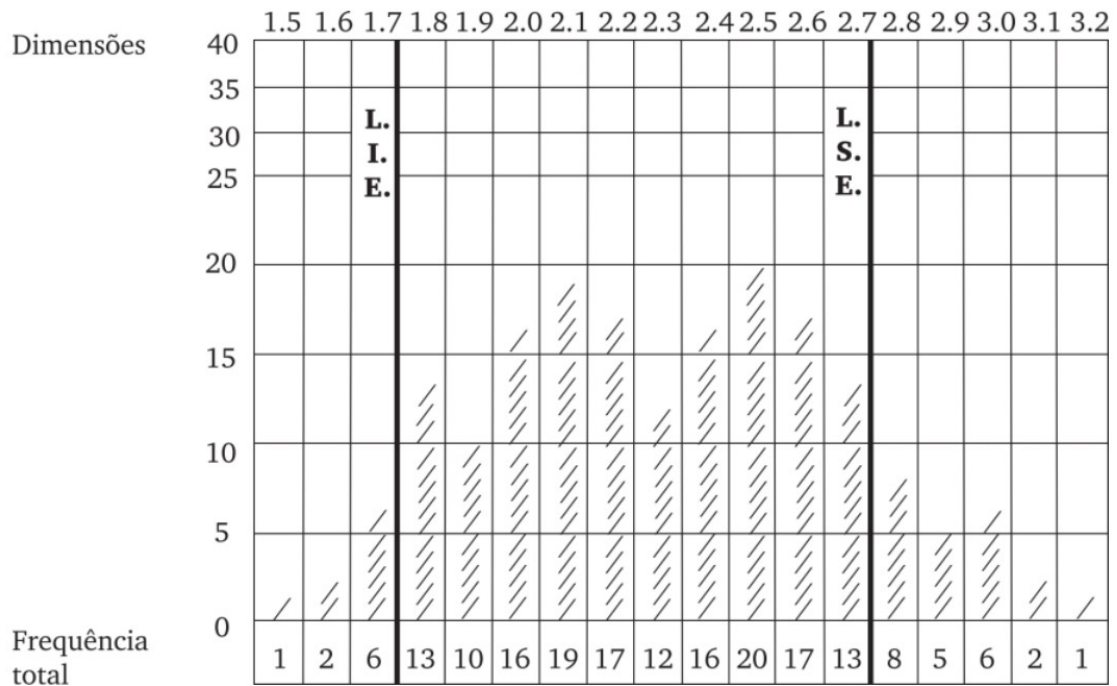
Para que a folha de verificação seja eficaz, alguns cuidados devem ser adotados em sua elaboração e aplicação: é necessário definir claramente o objetivo da coleta de dados, os itens que serão avaliados, os responsáveis pela coleta, além de incluir no documento todas as instruções necessárias para seu preenchimento. Também é recomendável realizar um teste antes da aplicação oficial (WERKEMA, 2006).

As informações coletadas por meio dessa ferramenta podem assumir diferentes naturezas, como:

- Dimensionais (cm, metros, litros),
- Temporais (dias, horas, segundos),
- Econômicas (valores monetários), ou
- Atributos (conforme/não conforme, aprovado/reprovado).

Na figura a seguir é possível observar um exemplo de folha de verificação:

Figura 3 – Exemplo de folha de verificação



fonte: baseado em (CARPINETTI, 2010).

Por sua simplicidade, versatilidade e baixo custo, a folha de verificação é considerada uma das ferramentas mais acessíveis e eficazes no controle da qualidade. Quando bem planejada, ela otimiza o processo de coleta de dados e contribui para decisões mais assertivas nas etapas seguintes de análise e melhoria dos processos (PEZZATTO et al., 2018).

### 3.4.3 Histograma

O histograma é uma ferramenta gráfica utilizada para representar a distribuição de frequências de um conjunto de dados quantitativos. Ele consiste em um gráfico de barras verticais, no qual o eixo horizontal é dividido em intervalos que representam os valores possíveis de uma variável, e a altura de cada barra corresponde à quantidade de observações que caem em cada intervalo (CARPINETTI, 2016).

Esse formato permite visualizar de maneira clara o comportamento da variável analisada, evidenciando a forma da distribuição, o valor central e o grau de dispersão dos dados em torno desse valor. Com o uso do histograma, é possível detectar padrões, assimetrias, variações e até identificar possíveis causas de instabilidade no processo (CARPINETTI, 2016).

Quando se compara um histograma de dados do processo com os limites de especificação definidos para determinada característica de qualidade, é possível responder a questões importantes como:

- O processo é capaz de atender às especificações?
- A média da distribuição está próxima do valor nominal (centro da faixa de especificação)?

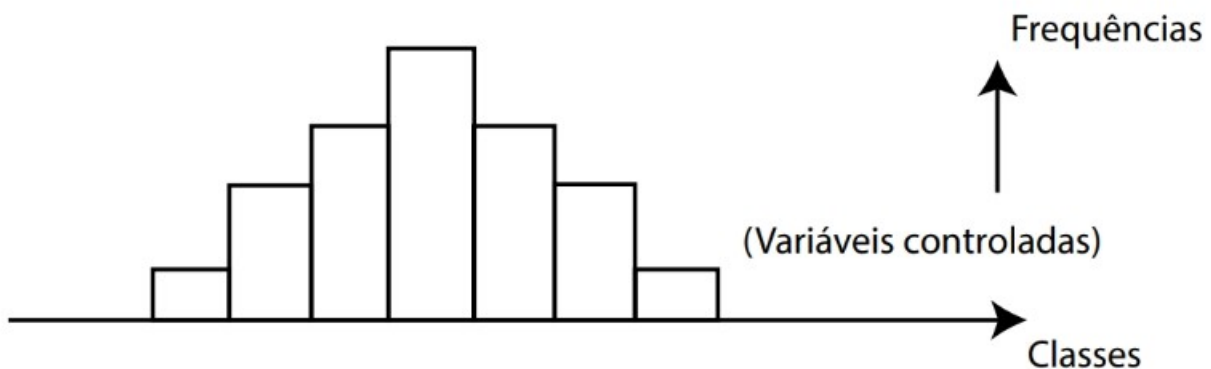
- Há necessidade de reduzir a variabilidade do processo?

Além disso, o histograma é especialmente útil nas fases de medição e análise de metodologias de melhoria contínua, como o DMAIC, pois fornece uma visão estatística sobre o desempenho do processo ao longo do tempo (CARPINETTI, 2016). A construção de um histograma envolve alguns passos básicos:

- Coletar os dados de forma estruturada.
- Determinar a amplitude dos dados e definir o número de classes (intervalos).
- Agrupar os dados dentro desses intervalos.
- Construir o gráfico de barras, relacionando cada intervalo com sua frequência correspondente.

Na figura 4, é possível observar um exemplo do gráfico de Pareto:

Figura 4 – Exemplo histograma normal



fonte: baseado em (PEZZATTO et al., 2018).

Por sua simplicidade e eficácia, o histograma é amplamente aplicado na gestão da qualidade como suporte para a tomada de decisões baseadas em evidências numéricas, contribuindo para a redução de variações e a melhoria contínua dos processos (CARPINETTI, 2016).

#### 3.4.4 Diagrama de Pareto

O Diagrama de Pareto é uma ferramenta amplamente utilizada na gestão da qualidade para priorizar causas, problemas ou defeitos, com base em sua frequência ou impacto. Seu fundamento está no Princípio de Pareto, formulado por Vilfredo Pareto no século XIX e adaptado à área da qualidade por Joseph Juran. Esse princípio estabelece que a maior parte das perdas ou efeitos indesejáveis decorre de um número reduzido de causas principais. Em termos práticos, isso significa que, ao analisar um conjunto de problemas, resolver cerca de 20% das causas pode eliminar até 80% dos efeitos negativos (CARPINETTI, 2016).

A aplicação do Diagrama de Pareto possibilita a visualização clara da ordem de importância entre diferentes causas ou falhas, permitindo que os recursos disponíveis sejam direcionados com maior

eficiência. Sua representação gráfica é feita por meio de um gráfico de barras verticais, dispostas da mais frequente para a menos frequente, e complementado por uma linha de frequência acumulada. Essa forma de apresentação facilita a identificação das causas vitais frente às causas triviais, apoiando a tomada de decisão e o planejamento de ações corretivas (CARPINETTI, 2016).

O uso do Diagrama de Pareto é especialmente recomendado quando os recursos são limitados, e é necessário focar esforços nas áreas com maior potencial de impacto (CARPINETTI, 2016). Ele é útil para análise de:

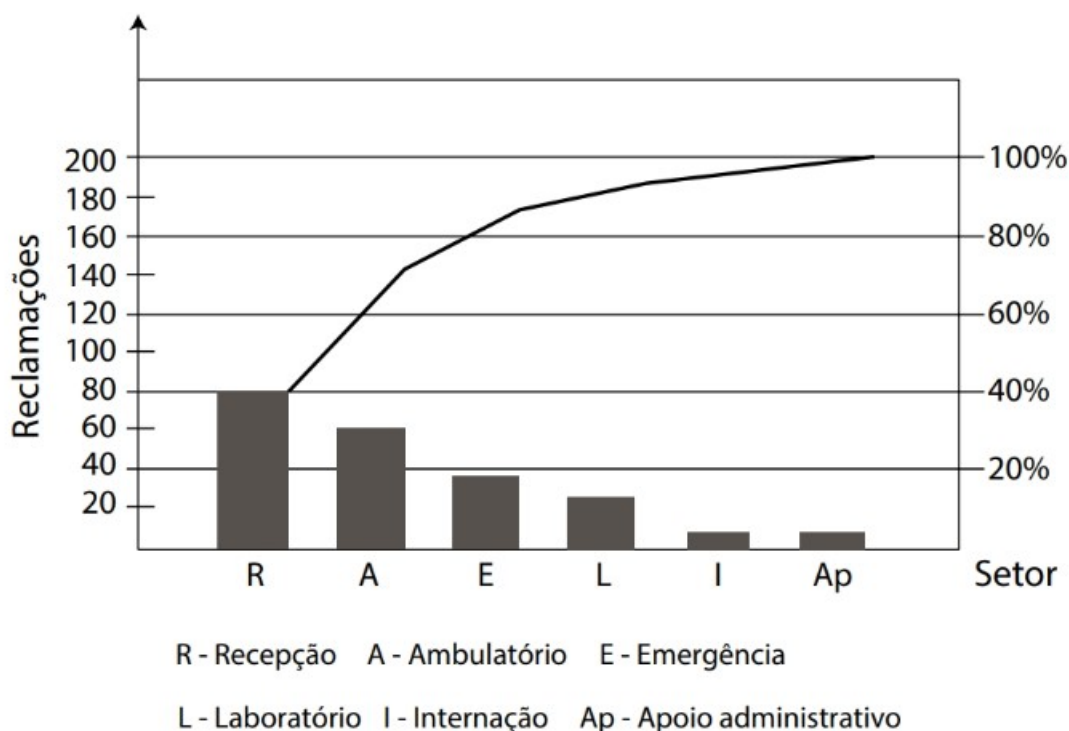
- Incidência de diferentes tipos de defeitos;
- Custo de retrabalho por tipo de falha;
- Problemas associados a diferentes turnos, operadores ou equipamentos;
- Causas mais frequentes de reclamações de clientes ou atrasos.

As etapas para construir um gráfico de Pareto envolvem:

- Selecionar os problemas ou causas a serem analisados (frequência de defeitos, custos, etc.);
- Definir a unidade de medição (número de ocorrências, valor monetário, etc.);
- Estabelecer o período de coleta dos dados;
- Registrar os dados observados no local (ex.: defeito A – 55 ocorrências, defeito B – 75, etc.);
- Organizar as categorias de forma decrescente no eixo horizontal;
- Representar os dados por barras verticais;
- Traçar uma linha de frequência acumulada sobre as barras.

A seguir, na figura 5, é possível observar um exemplo do gráfico de Pareto:

Figura 5 – Exemplo de gráfico de Pareto



fonte: baseado em (PEZZATTO et al., 2018).

Com isso, o Diagrama de Pareto se consolida como uma ferramenta essencial para a priorização de problemas, permitindo que ações estratégicas de melhoria contínua sejam tomadas com base em evidências claras e bem organizadas (CARPINETTI, 2016).

### 3.4.5 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito ou diagrama espinha de peixe, é uma ferramenta visual utilizada para identificar, explorar e organizar sistematicamente as possíveis causas de um problema específico. Sua estrutura facilita a categorização das causas em grupos principais, promovendo uma análise aprofundada dos fatores que influenciam determinado resultado (BOTEZATU; AL., 2019).

Originalmente desenvolvido por Kaoru Ishikawa na década de 1960, o diagrama é amplamente aplicado em ambientes industriais para auxiliar na tomada de decisão, sobretudo na identificação das causas-raiz de não conformidades. Tradicionalmente, as causas são organizadas segundo os “6Ms”: Método, Máquina, Medida, Mão de obra, Meio ambiente e Materiais. Cada uma dessas categorias representa uma dimensão crítica do processo que pode influenciar o problema analisado (BOTEZATU; AL., 2019).

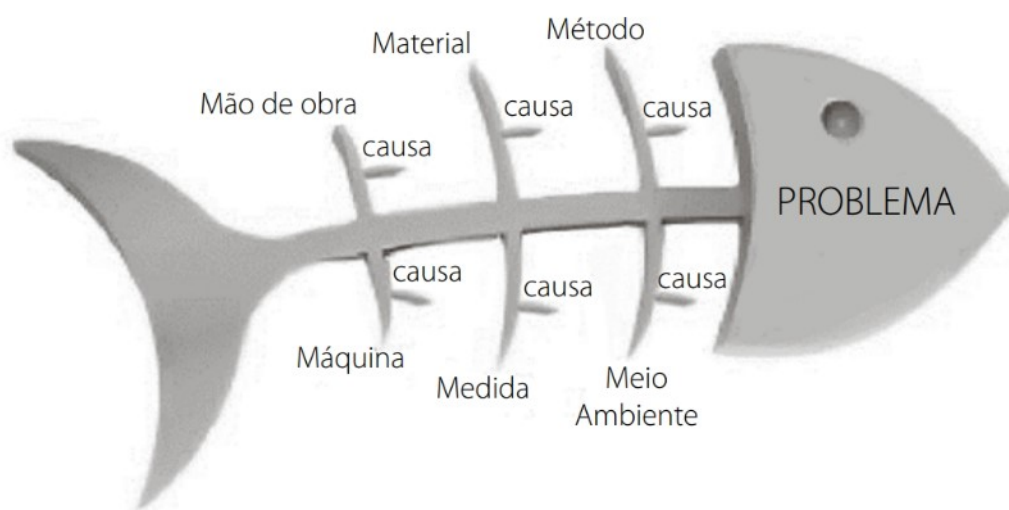
Para guiar a construção do diagrama, perguntas específicas são formuladas para cada categoria, estimulando a identificação detalhada das possíveis causas. Exemplos comuns incluem:

- Método: Quais procedimentos, normas ou práticas estão sendo seguidos? Existem falhas ou desvios nos métodos utilizados?

- Máquina: Os equipamentos estão adequadamente calibrados e mantidos? Há falhas técnicas ou obsolescência?
- Medida: Os instrumentos de medição são precisos e confiáveis? Como é feita a coleta e análise dos dados?
- Mão de obra: Os operadores possuem treinamento e experiência adequados? Há problemas de comunicação ou supervisão?
- Meio ambiente: Condições ambientais (temperatura, umidade, iluminação) influenciam o processo? Existem interferências externas?
- Materiais: A qualidade dos insumos é consistente? Há variações ou problemas no fornecimento?

A partir disso, é possível montar o diagrama dividido em seis prováveis eixos que poderiam interferir causando a falha, como podemos ver com a figura 6 (PEZZATTO et al., 2018):

Figura 6 – Diagrama de Ishikawa



fonte: (PEZZATTO et al., 2018).

Estudos recentes propuseram aprimoramentos ao Diagrama de Ishikawa para torná-lo mais eficaz em contextos industriais complexos. Por exemplo, (LILUANA, 2016) sugeriu um modelo baseado em múltiplos “esqueletos”, permitindo segmentar e aprofundar a análise quando diversas fontes potenciais de falhas coexistem. Essa abordagem multidimensional é particularmente útil em processos produtivos que envolvem diferentes tipos de testes técnicos, onde múltiplas variáveis inter-relacionadas podem impactar o desempenho (LILUANA, 2016).

No contexto deste trabalho, a aplicação do Diagrama de Ishikawa foi fundamental para estruturar as possíveis causas da divergência entre as horas planejadas e as efetivamente utilizadas nos testes de processo. Essa ferramenta facilitou a identificação dos principais fatores que contribuem para as inconsistências no planejamento e execução, além de apoiar a reestruturação do fluxo do processo como um todo.

### 3.4.6 5 Porquês

A metodologia dos 5 Porquês é uma técnica utilizada para identificar a causa raiz de um problema por meio de uma investigação sequencial que consiste em perguntar repetidamente “por quê?” até alcançar a origem do problema. Desenvolvida por Taiichi Ohno, considerado o pai do Sistema Toyota de Produção, essa abordagem faz parte da filosofia Lean e visa promover a melhoria contínua dos processos produtivos (OHNO, 1988).

O princípio básico dessa técnica é que, ao repetir a pergunta “por quê?” aproximadamente cinco vezes, é possível encontrar causas subjacentes que frequentemente passam despercebidas, evitando assim que se realizem intervenções superficiais que apenas tratam os sintomas, sem resolver o problema de forma definitiva (OHNO, 1988). Essa abordagem incentiva as equipes a se aprofundarem na análise dos processos, identificando falhas e desvios que impactam diretamente a qualidade e a eficiência das operações.

Os passos comuns da técnica incluem: definir claramente o problema a ser investigado; perguntar “por quê?” para identificar a primeira causa possível; para cada resposta dada, continuar perguntando “por quê?” sucessivamente até que a causa raiz seja encontrada e validar as causas identificadas junto às equipes com conhecimento prático do processo para garantir precisão e relevância nas respostas (MCMURRAY; SYED, 2016). Embora o nome sugira cinco interrogações, o número exato pode variar conforme a complexidade do problema.

No contexto da melhoria contínua e metodologias como Lean seis sigma, a aplicação dos 5 Porquês é reconhecida como uma ferramenta fundamental para aprofundar a análise de processos, identificar pontos críticos e propor soluções eficazes. Conforme destacam McMurray e Syed (MCMURRAY; SYED, 2016), o sucesso da técnica depende do engajamento das pessoas envolvidas no processo, garantindo que a análise seja baseada em conhecimento prático e dados reais.

No ambiente industrial, especialmente em processos de teste e produção de motores e geradores elétricos, a metodologia dos 5 Porquês é essencial para identificar causas raízes de desvios entre o tempo planejado e o efetivamente utilizado, possibilitando a proposição de ações corretivas que melhoram a confiabilidade do planejamento e reduzem desperdícios operacionais.

### 3.4.7 5W2H

A ferramenta 5W2H é amplamente utilizada no contexto da qualidade e da melhoria contínua como um método estruturado para o planejamento, execução e acompanhamento de ações corretivas e preventivas. Trata-se de um checklist sistemático que ajuda a garantir clareza, responsabilidade e viabilidade na implementação de soluções (CARPINETTI, 2016; LOBO, 2020a).

O nome 5W2H deriva das iniciais das sete perguntas fundamentais em inglês que guiam o processo:

- *Who* (Quem?) – Quem será o responsável pela execução da ação?
- *What* (O quê?) – O que será feito? Qual a ação específica a ser implementada?
- *Where* (Onde?) – Em qual local, setor ou processo essa ação será aplicada?
- *When* (Quando?) – Em que prazo ou período a ação será realizada?

- *Why* (Por quê?) – Qual a justificativa para essa ação? Por que ela é necessária?
- *How* (Como?) – De que forma a ação será executada? Quais os métodos ou etapas?
- *How much* (Quanto custa?) – Qual será o custo ou o recurso necessário para a implementação?

A estrutura da 5W2H favorece a organização lógica do plano de ação, garantindo que nenhum aspecto importante seja negligenciado. Além disso, ela permite que todos os envolvidos tenham clareza quanto aos objetivos, prazos, responsabilidades e recursos envolvidos, promovendo maior engajamento da equipe e controle do processo (CARPINETTI, 2016; LOBO, 2020a).

Segundo (LOBO, 2020a), além de ser usada como plano de ação autônomo, a 5W2H também pode atuar como ferramenta de apoio ao Diagrama de Causa e Efeito, servindo para desdobrar e operacionalizar as ações derivadas da análise das causas. As perguntas podem ser exploradas com mais profundidade, auxiliando o time a refletir criticamente sobre a viabilidade e os impactos de cada decisão.

Essa ferramenta é particularmente útil na etapa de Melhorar (Improve) do ciclo DMAIC, pois contribui diretamente para o detalhamento e implementação eficaz das soluções propostas com base nas causas identificadas (SLACK; BRANDON-JONES; BURGESS, 2023).

### 3.4.8 Fluxograma

O fluxograma é uma ferramenta gráfica utilizada para representar, de forma sequencial e lógica, as etapas de um processo, atividade ou sistema. Por meio de símbolos padronizados, torna-se possível visualizar o fluxo de trabalho, desde a origem até o destino de dados, informações, materiais ou pessoas envolvidas no processo. Essa visualização facilita a compreensão do funcionamento real de um processo e evidencia pontos críticos, gargalos, retrabalhos e oportunidades de melhoria (AFONSO; FANDINO, 2020; OLIVEIRA, 2013).

De acordo com LOBO (LOBO, 2020b), o fluxograma é considerado o gráfico de processamento por excelência nas análises administrativas, permitindo o entendimento objetivo de como os processos realmente ocorrem, e não apenas como estão descritos em procedimentos formais. Isso torna a ferramenta aplicável a sistemas dos mais simples aos mais complexos, sendo especialmente útil em ambientes industriais.

As principais vantagens do uso do fluxograma incluem:

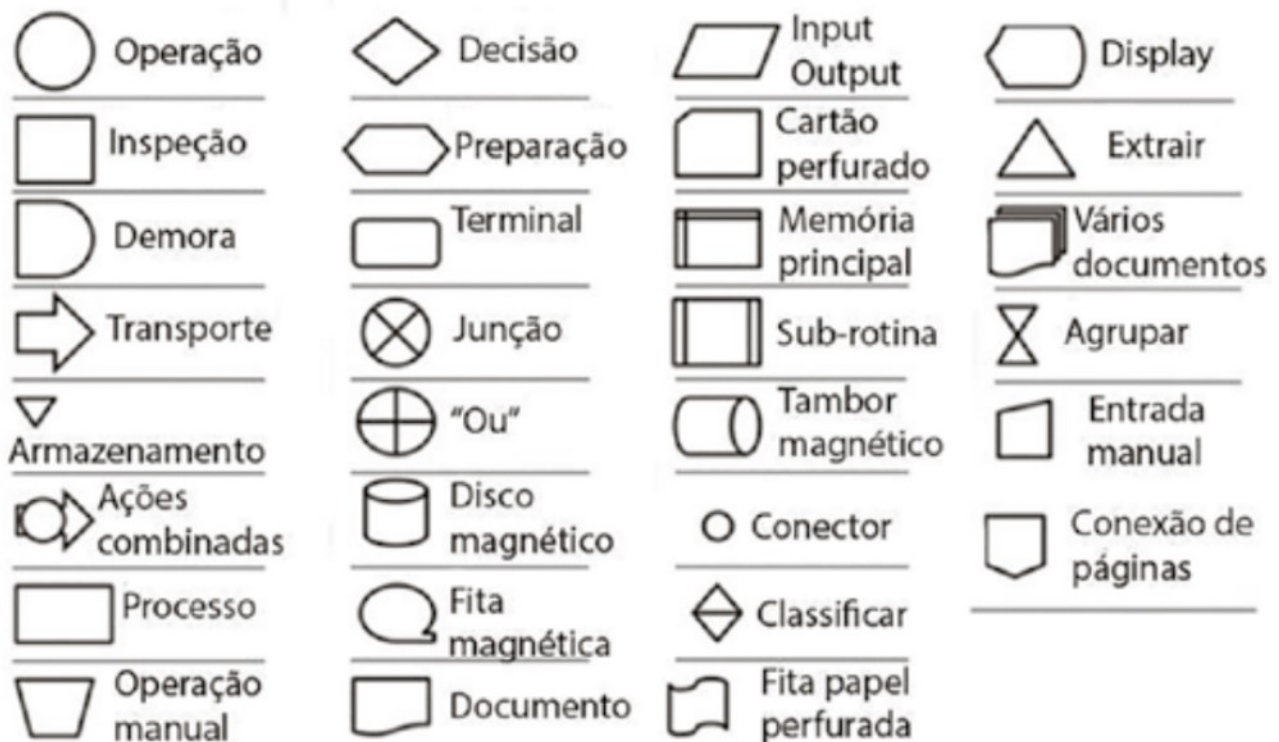
- Padronização e clareza na descrição de métodos e procedimentos,
- Facilidade de leitura e análise,
- Identificação de falhas e redundâncias,
- Comunicação mais eficaz entre os envolvidos no processo,
- Maior controle e planejamento das operações.

Para sua elaboração, alguns passos devem ser seguidos (RAMOS; ALMEIDA; ARAÚJO, 2013; LOBO, 2020b):

- Definição do processo a ser representado, com escopo e objetivos claros.
- Coleta de dados junto aos responsáveis por cada etapa, verificando como o processo é executado na prática.
- Construção do fluxograma, utilizando símbolos apropriados para representar atividades, decisões, entradas e saídas.
- Análise crítica do fluxo, identificando possíveis melhorias, gargalos ou etapas desnecessárias.
- Relatório de análise, com as principais conclusões e sugestões para otimização do processo.

Na figura 7, é possível observar os símbolos e as atividades que os mesmos representam em um fluxograma:

Figura 7 – Símbolos do fluxograma



fonte: (PEZZATTO et al., 2018).

Ressalta-se que diferentes padrões de fluxograma e simbologias podem ser adotados conforme a necessidade.

A representação fiel da realidade é um princípio fundamental no uso do fluxograma, permitindo que os envolvidos enxerguem com mais clareza como cada etapa se conecta e qual seu impacto no desempenho geral do processo. Dessa forma, o fluxograma contribui significativamente para a melhoria contínua, promovendo eficiência e padronização nas operações industriais.

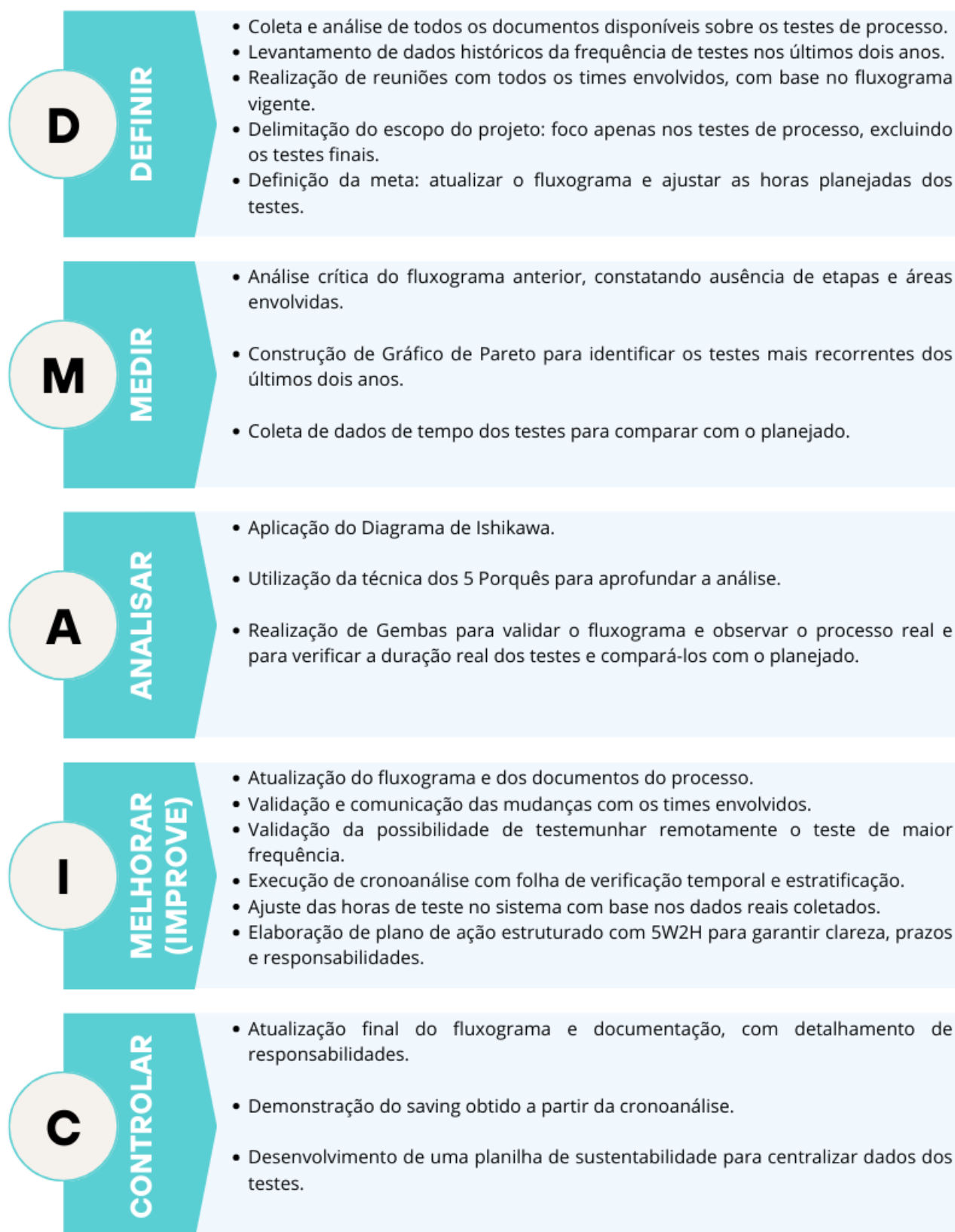
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada, de abordagem mista, pois integra dados quantitativos e qualitativos. Trata-se também de uma pesquisa-ação, já que envolve intervenção direta no processo organizacional com o objetivo de promover melhorias operacionais. De acordo com (CRESWELL; CRESWELL, 2021), a abordagem de métodos mistos busca combinar as vantagens das abordagens qualitativa e quantitativa, promovendo uma análise mais completa e profunda. Enquanto os dados qualitativos possibilitam a compreensão do contexto e das percepções envolvidas no processo, os dados quantitativos oferecem informações objetivas e mensuráveis. A combinação dessas abordagens permite superar limitações individuais e fornece uma base mais robusta para a tomada de decisões e proposição de soluções.

O estudo foi aplicado em uma empresa de grande porte do setor eletromecânico, com aproximadamente 700 colaboradores, dedicada ao desenvolvimento de tecnologias voltadas à conversão de energia. A organização atua na produção de motores e geradores elétricos de médio e grande porte, com aplicação em segmentos industriais, energéticos e marítimos. Inserida em um grupo empresarial global voltado à eletrificação e descarbonização da matriz energética, essa unidade busca constantemente soluções para aumentar a eficiência, reduzir impactos ambientais e atender às exigências de confiabilidade e sustentabilidade do setor.

O trabalho foi conduzido especificamente no setor de testes de processo, responsável por assegurar a conformidade e o desempenho dos equipamentos antes de sua liberação final. Por sua relevância na qualidade do produto e no cumprimento dos prazos de entrega, esse ambiente se mostra propício à aplicação de metodologias de melhoria contínua. Para alcançar os objetivos propostos, este estudo adotou a metodologia DMAIC como abordagem principal, cujas etapas são apresentadas na figura 8 a seguir.

Figura 8 – Etapas DMAIC



fonte: elaborado pela autora.

#### 4.1 DEFINIR (DEFINE)

Na fase Definir, foi realizada uma coleta inicial de dados e informações com o objetivo de compreender o cenário atual dos testes de processo. Para isso, foram solicitados e analisados todos os documentos disponíveis relacionados aos testes, além da coleta de dados históricos sobre a frequência de execução desses testes ao longo dos últimos dois anos. Adicionalmente, os testes foram acompanhados de forma remota e síncrona, sendo realizados registros audiovisuais com a devida autorização da equipe. Posteriormente, os vídeos foram utilizados para a cronometragem detalhada das atividades, permitindo a mensuração precisa dos tempos de execução e a identificação de possíveis variações no processo.

Com base no fluxograma vigente, foram promovidas reuniões com todos os times envolvidos no processo que são ITO (*Inquiry to Order - time responsável pelo atendimento técnico e comercial até o fechamento do pedido*), engenharia de produto, OTR (*Order to Remittance - time responsável pelas etapas do pedido até a remessa do produto ao cliente*), planejamento e controle da produção (PCP), manufatura e qualidade, o que permitiu mapear, de forma colaborativa, os pontos críticos e gargalos percebidos pelos diferentes setores. Esses encontros foram conduzidos por meio da técnica de *brainstorming*, possibilitando a coleta de diferentes perspectivas e experiências dos participantes, enriquecendo a compreensão do processo como um todo. A partir dessas discussões, definiu-se o escopo do projeto, que passou a considerar exclusivamente os testes de processo, ou seja, aqueles que antecedem os testes finais com o produto completo. Essa escolha foi motivada pela relevância desses testes no início da cadeia de verificação e pela possibilidade de atuação mais direta sobre as etapas analisadas, garantindo maior foco, profundidade e viabilidade na execução do trabalho.

Como meta principal deste trabalho, estabeleceu-se a necessidade de atualizar o fluxograma do processo e ajustar as horas planejadas dos testes, promovendo maior aderência à realidade observada na operação. As ferramentas da qualidade aplicadas nessa fase foram a estratificação, para segmentar os dados por variáveis relevantes, e a folha de verificação, que contribuiu para o registro organizado e padronizado das informações coletadas.

#### 4.2 MEDIR (MEASURE)

Na fase Medir, o foco foi compreender em detalhes o desempenho atual do processo de testes, identificando lacunas e oportunidades com base em dados reais. Inicialmente, analisou-se o fluxograma anterior, disponível em um dos documentos coletados na fase anterior. Durante essa análise, constatou-se que o mesmo estava desatualizado, com a ausência de etapas importantes e de áreas da empresa que, na prática, participam ativamente do processo. Essa constatação evidenciou a necessidade de revisar o fluxo como parte da meta estabelecida.

Em seguida, foi realizada a análise da frequência dos testes de processo com base nas informações coletadas ao longo dos dois últimos anos. Os dados foram organizados por meio da folha de verificação. Com isso, foi possível identificar os testes mais recorrentes e suas respectivas ocorrências por meio da construção de um Gráfico de Pareto, o que permitiu visualizar as situações mais representativas em termos de impacto e frequência.

Além disso, foram coletados dados de tempo de execução dos testes, com o objetivo de compará-los com os tempos teóricos previamente planejados. Para isso, foi utilizada novamente a estratificação, bem como a aplicação de uma folha de verificação com natureza temporal, permitindo registrar com precisão os tempos reais de execução. Essa comparação foi fundamental para quantificar a divergência entre o planejado e o executado, fornecendo insumos para as próximas fases do ciclo DMAIC.

### 4.3 ANALISAR (ANALYZE)

Na fase Analisar, o foco esteve na identificação das causas raízes das divergências observadas entre as horas planejadas e as efetivamente utilizadas nos testes de processo. Para isso, foram utilizadas ferramentas da qualidade, o Diagrama de Ishikawa, que permitiu organizar e estruturar visualmente os possíveis fatores que poderiam estar influenciando negativamente o processo.

A partir das categorias mapeadas no diagrama, aplicou-se a técnica dos 5 Porquês, a fim de aprofundar a análise das causas e chegar à raiz do problema. A técnica possibilitou a identificação de pontos críticos relacionados tanto à comunicação entre áreas quanto à ausência de padronização nas etapas de execução e registro dos testes.

Para validar as hipóteses levantadas e compreender melhor as falhas apontadas, foi realizado um Gemba que consiste em ir ao local real de execução do processo. Assim, foi possível revisar e validar o fluxograma atual do processo, com base na observação direta das atividades executadas e nos relatos dos profissionais da operação.

Além disso, foi conduzido um segundo Gemba com foco específico na comparação entre a duração dos testes vendidos e os tempos efetivamente realizados. Essa verificação prática reforçou a percepção de inconsistência entre o planejamento e a execução, apontando falhas na estimativa inicial dos tempos e na retroalimentação do processo com dados atualizados.

As evidências levantadas nesta etapa forneceram subsídios sólidos para a próxima fase do projeto, voltada à proposição de soluções concretas para reduzir as discrepâncias e otimizar o processo de testes.

### 4.4 MELHORAR (IMPROVE)

Na fase Melhorar, as ações foram voltadas à implementação de soluções capazes de eliminar as causas identificadas na etapa anterior, com foco na redução da divergência entre as horas planejadas e as horas efetivas dos testes de processo. A primeira iniciativa consistiu na atualização do fluxograma do processo, uma vez que o modelo anteriormente utilizado estava desatualizado e não refletia a realidade operacional. O novo fluxograma foi elaborado com base nas observações em campo, nos relatos das equipes e nas lacunas identificadas durante a fase de análise.

Em paralelo, os documentos do processo também foram revisados e atualizados, assegurando que todas as instruções, responsabilidades e sequências de atividades estivessem alinhadas com a prática real. Após as revisões, todas as atualizações foram validadas com os times envolvidos e comunicadas formalmente, promovendo alinhamento entre as áreas operacionais.

Outro ponto relevante dessa etapa foi a validação da possibilidade de testemunhar o teste de processo com maior frequência nos últimos dois anos. Com a aprovação para acompanhamento remoto, foi possível testemunhar o ensaio em tempo real, o que permitiu realizar uma cronoanálise, registrando os tempos de execução por meio da folha de verificação com natureza temporal e estratificação. Esses registros permitiram quantificar com precisão as discrepâncias entre o tempo planejado e o tempo efetivo, servindo de base para o ajuste das horas de teste no sistema, promovendo maior alinhamento entre o planejamento e a prática.

Por fim, as ações de melhoria propostas e implementadas foram organizadas em um plano estruturado utilizando a ferramenta 5W2H, que permitiu descrever de forma clara o que seria feito, por que, onde, por quem, quando, como e com qual custo. Essa abordagem garantiu que todas as partes envolvidas compreendessem suas responsabilidades e prazos, aumentando o engajamento e a eficácia na implementação das mudanças.

#### 4.5 CONTROLAR (CONTROL)

Na etapa Controlar, foram implementadas ações para garantir a sustentação das melhorias realizadas e a padronização dos processos. Inicialmente, foi realizada a atualização do fluxograma e da documentação do processo, incorporando um maior nível de detalhamento das etapas, das áreas envolvidas e de suas respectivas responsabilidades, o que fortaleceu a comunicação entre os times e reduziu ambiguidades na execução dos testes.

Além disso, com base nos dados obtidos durante a cronoanálise, foi possível demonstrar a economia gerada com o ajuste das horas de testes de processo.

Como ação de controle, foi desenvolvida uma planilha para centralizar o acompanhamento e registro dos testes de processo. Essa planilha reúne informações relevantes de cada teste, como horas planejadas, horas medidas, tipo de teste e data da execução, permitindo o preenchimento contínuo das horas medidas imediatamente após cada teste. Essa iniciativa não só contribui para o monitoramento contínuo das divergências, como também serve como base para futuras análises, garantindo controle e melhoria contínua nos testes de processos.

## 5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE MELHORIA CONTINUA DMAIC

A seguir, são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia DMAIC no processo de testes de processo de motores e geradores elétricos de médio e grande porte. Cada etapa foi desenvolvida conforme os princípios do ciclo DMAIC, abordando a definição do problema, a medição do desempenho atual, a análise das causas, a implementação de melhorias e, por fim, o controle das ações adotadas. Essa abordagem estruturada permitiu uma análise aprofundada e a proposição e implementação de soluções práticas voltadas à redução da divergência entre as horas planejadas e efetivas dos testes.

### 5.1 RESULTADOS DA ETAPA DEFINIR

A partir da coleta inicial de dados e da análise inicial dos documentos disponíveis, foi identificada uma divergência significativa entre o tempo planejado e o tempo efetivamente registrado durante a execução dos testes de processo em motores elétricos de médio e grande porte. Essa discrepância compromete diretamente a acuracidade do planejamento das ordens de fabricação, além de impactar negativamente a eficiência produtiva e os custos operacionais envolvidos.

Outro ponto crítico verificado nesse levantamento foi a desatualização e a falta de padronização na documentação dos procedimentos de teste de processo. A ausência de informações e atualizadas dificultava a estimativa precisa das horas necessárias para execução, além de comprometer a rastreabilidade e a comunicação entre as áreas envolvidas.

Diante desse cenário, definiu-se como foco do projeto o processo de planejamento e execução dos testes de processo realizados durante a fabricação dos motores. Ficam fora do escopo deste trabalho as etapas anteriores de desenvolvimento do produto e os testes finais, realizados com o equipamento já finalizado.

O objetivo central do projeto é reduzir a diferença entre as horas planejadas e as horas executadas por meio da cronoanálise e atualização da documentação do processo, da padronização das atividades e da aplicação de ferramentas da qualidade que auxiliem na análise e na melhoria contínua.

A seguir, na figura 9, apresenta-se o *Team Charter* (diretrizes da equipe), que consolida as definições iniciais do projeto, incluindo impacto nos negócios, oportunidades, objetivos e escopo do projeto, cronograma e a equipe responsável.

Figura 9 – Team charter



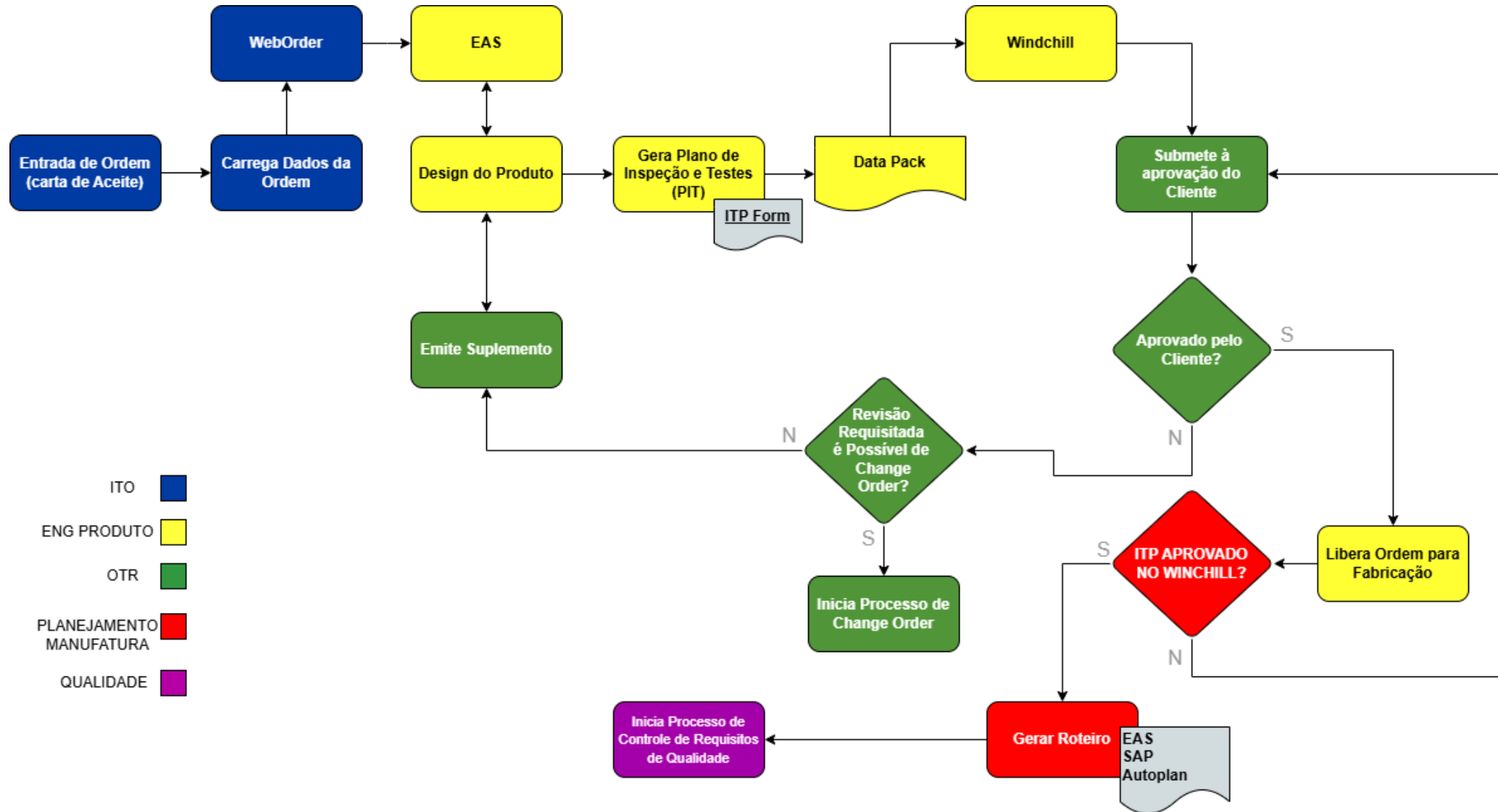
fonte: elaborado pela autora.

## 5.2 RESULTADOS DA ETAPA MEDIR

Na etapa Medir, foi realizada uma análise detalhada dos documentos disponíveis com o objetivo de compreender o processo atual de testes de processo. Ao examinar um dos fluxogramas fornecidos, identificaram-se divergências relevantes entre o fluxo descrito e a prática operacional vigente. Observou-se a ausência de etapas importantes e a exclusão de áreas envolvidas no processo, como o time de planejamento e controle da produção. Além disso, a sequência das atividades não correspondia à rotina atual, comprometendo a padronização e a visão sistêmica necessária à gestão eficaz do processo.

A figura 10, apresenta o fluxograma que antecede aplicação da metodologia DMAIC.

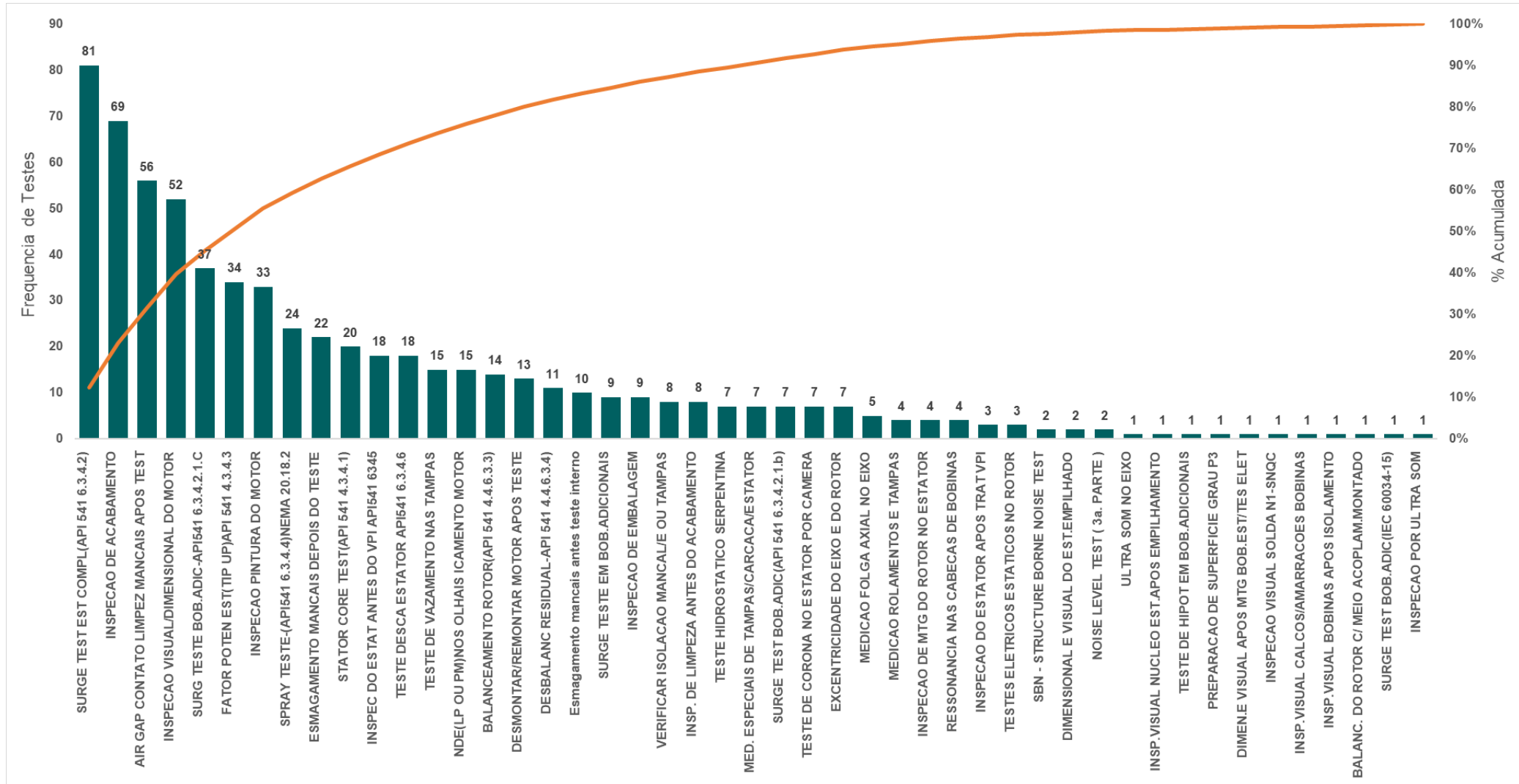
Figura 10 – Fluxograma antes da implementação do DMAIC



fonte: elaborado pela autora com base em documentos internos da organização onde o estudo foi desenvolvido.

Com o objetivo de direcionar os esforços de melhoria, foi realizada uma análise da frequência dos testes de processo executados nos últimos dois anos. Utilizando os registros históricos e aplicando a ferramenta do diagrama de Pareto, foi possível identificar os testes com maior recorrência, conforme ilustrado na figura 11 abaixo:

Figura 11 – Frequência dos testes realizados no motor / gerador



fonte: elaborado pela autora.

A partir dessa análise, definiu-se o foco da cronoanálise nos dois testes de processo mais frequentemente executados: *Surge Test Full Stator* e *Surge Test Additional Coil*. Ambos foram acompanhados por videoconferência, o que permitiu medir com maior precisão os tempos reais de execução, garantindo maior confiabilidade nos dados coletados para comparação com os tempos planejados.

### 5.3 RESULTADOS DA ETAPA ANALISAR

Na fase Analisar, o objetivo foi identificar as causas da divergência entre as horas planejadas e as horas efetivamente registradas nos testes de processo. Para isso, foram realizadas visitas ao Gemba no local onde as atividades realmente acontecem, com o intuito de observar diretamente a execução dos testes e envolver as equipes operacionais no diagnóstico do problema.

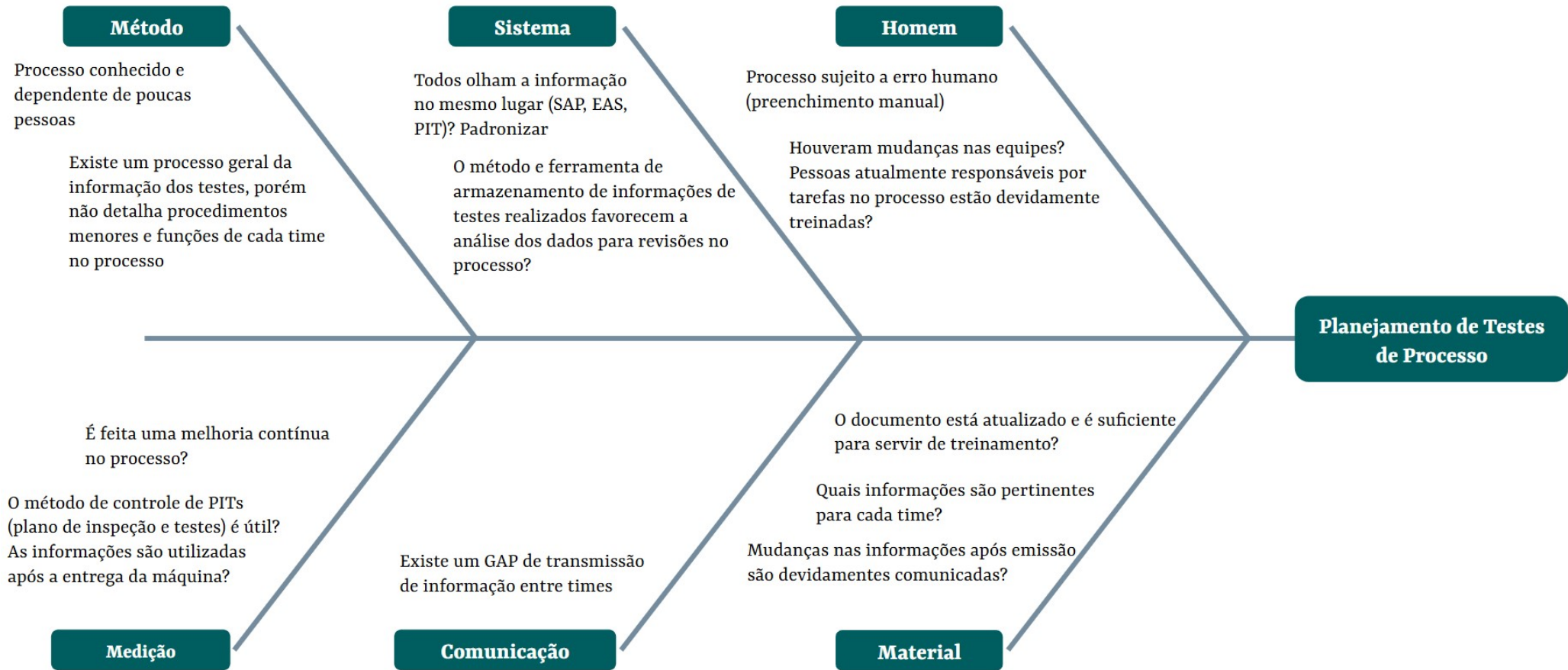
Durante essa etapa, foi aplicada a técnica dos 5 Porquês, conforme a seguir:

- **Por que há divergência entre as horas reais e teóricas dos testes?**  
Porque o tempo registrado no planejamento não corresponde ao tempo efetivamente gasto na execução.
- **Por que há divergência entre as horas reais e teóricas dos testes?**  
Porque o tempo registrado no planejamento não corresponde ao tempo efetivamente gasto na execução.
- **Por que o tempo registrado no planejamento está diferente do tempo real?**  
Porque as informações utilizadas para o planejamento estão desatualizadas ou incompletas.
- **Por que as informações utilizadas para o planejamento estão desatualizadas?**  
Porque o processo de testes não vinha sendo monitorado de forma sistemática e a documentação não foi revisada periodicamente.
- **Por que o processo não vinha sendo monitorado sistematicamente?**  
Porque não havia um procedimento padronizado de coleta e registro dos tempos reais após a execução dos testes.
- **Por que não havia esse procedimento padronizado de coleta?**  
Porque faltava uma ferramenta centralizada e uma rotina definida para alimentar o sistema com dados atualizados após cada teste.

A aplicação da técnica dos 5 Porquês permitiu identificar que a principal causa da divergência entre as horas planejadas e executadas nos testes de processo é a ausência de um procedimento padronizado para a coleta, registro e atualização dos tempos reais. Essa lacuna impede a retroalimentação sistemática do sistema de planejamento, mantendo dados desatualizados e comprometendo a acuracidade das estimativas de tempo, o controle do processo e a eficiência operacional

Para complementar essa análise, foi elaborado um Diagrama de Ishikawa, com o objetivo de organizar visualmente as possíveis causas do problema, o mesmo pode ser visto figura 12, a seguir:

Figura 12 – Aplicação do Diagrama de Ishikawa



fonte: elaborado pela autora.

Com base no diagrama é possível observar os principais fatores que contribuem para a divergência entre as horas planejadas e efetivamente registradas nos testes de processo. Na categoria Método, observou-se que o processo geral é conhecido, mas depende do conhecimento não documentado de poucas pessoas e precisa de detalhamento em etapas específicas e na definição clara das responsabilidades de cada equipe. Isso aumenta a vulnerabilidade do processo frente a mudanças de equipe ou ausência de padronização.

Em relação ao Sistema, identificou-se que diferentes áreas acessam informações em sistemas distintos, o que gera inconsistência e retrabalho. A ausência de um método unificado e estruturado de registro das informações dificulta a análise histórica dos dados, essencial para a revisão e melhoria contínua do processo.

Na parte Homem foi revelado riscos associados ao preenchimento manual dos registros, além da necessidade de verificar se as pessoas atualmente responsáveis pelas tarefas receberam o devido treinamento. Mudanças recentes nas equipes também podem ter contribuído para a variação nos resultados.

Na categoria Medição, surgiram dúvidas sobre a efetividade do controle por meio dos planos de inspeções de testes e sobre o uso real dessas informações após a entrega do equipamento. A inexistência de um processo estruturado de retroalimentação e melhoria contínua também foi destacada como uma fragilidade.

A Comunicação entre os times mostrou-se um ponto crítico, com a presença de falhas na transmissão de informações que comprometem a fluidez do processo e dificultam a atuação coordenada entre áreas.

Por fim, na dimensão Material, identificou-se que a documentação disponível estava desatualizada e insuficiente para fins de treinamento. Além disso, as mudanças nas informações após a emissão dos documentos nem sempre são devidamente comunicadas aos envolvidos, o que compromete a rastreabilidade e a padronização.

Essa análise reforçou a necessidade de ações estruturadas voltadas à atualização da documentação, melhoria na comunicação entre áreas, padronização dos registros e capacitação das equipes, elementos que foram fundamentais para a proposição das soluções desenvolvidas nas etapas seguintes do projeto.

Paralelamente, foi realizada a validação do fluxograma do processo de testes com os colaboradores diretamente envolvidos na operação. Essa atividade evidenciou etapas que já não refletiam mais a prática atual, levando à atualização do fluxo para representar com fidelidade o processo real.

Na sequência, conduziu-se um segundo Gemba com foco específico na análise comparativa entre os tempos teóricos documentados e os tempos efetivamente praticados. Essa verificação foi validada pelo responsável técnico da área, assegurando a confiabilidade dos dados analisados.

Dentre os testes analisados, o Surge Test foi escolhido como objeto de estudo quantitativo, com base em três fatores principais: sua alta frequência nas ordens de fabricação dos últimos dois anos, a viabilidade de testemunho remoto por meio do sistema interno da empresa, e sua relevância no contexto geral dos testes de processo.

## 5.4 RESULTADOS DA ETAPA MELHORAR

Na fase Melhorar, foram implementadas ações direcionadas à eliminação das causas identificadas na etapa anterior, com o objetivo de reduzir a divergência entre as horas planejadas e as efetivamente executadas nos testes de processo, com foco principal nos dois testes mais frequentes.

A primeira frente de atuação foi relacionada à desatualização do processo. Verificou-se que tanto o fluxograma operacional quanto os documentos de referência estavam defasados, o que comprometia a padronização e dificultava o alinhamento entre as áreas. Diante disso, foram executadas as seguintes ações:

- Atualização do fluxograma do processo, com base nas observações em campo e validação com os operadores;
- Revisão completa dos documentos que orientam a execução do procedimento;
- Validação das alterações com os times envolvidos e posterior comunicação oficial das atualizações, garantindo padronização e engajamento.

A segunda frente tratou da divergência entre os tempos planejados e os tempos reais de execução. A hipótese inicial de que os tempos planejados estavam desatualizados foi validada após um processo estruturado de observação prática. Para isso:

- Confirmou-se a viabilidade de testemunho remoto dos testes;
- Foram acompanhadas execuções reais, coletando dados em tempo real;
- Realizou-se cronoanálise, utilizando folha de verificação com natureza temporal e estratificação dos dados;
- A partir dos resultados obtidos, foi possível ajustar as horas de teste no sistema de gestão, promovendo maior precisão no planejamento futuro.

Com o objetivo de garantir clareza, alinhamento e viabilidade na execução das ações propostas, foi estruturado um plano de ação 5W2H, que detalha o o quê, por quê, quem, quando, como, onde e quanto custa cada etapa implementada o mesmo pode ser observado a seguir, na tabela 1:

Tabela 1 – 5W2H

<b>Procedimento dos testes de processo</b>	
<i>Who?</i>	Grupo com 5 integrantes dos times de engenharia de produto, compras, ITO e PCP
<i>What?</i>	Reestruturação no procedimento dos testes de processo
<i>Where?</i>	Setor de Testes de Processo de motores e geradores elétricos de médio e grande porte, em uma empresa de grande porte do setor de conversão de energia elétrica
<i>When?</i>	Periodo entre junho e novembro de 2024
<i>Why?</i>	Erros na documentação Divergência de horas teórico x real
<i>How?</i>	Atualizar a documentação, registrando corretamente as etapas já praticadas no processo Recalcular o tempo padrão dos testes com base na cronoanálise realizada
<i>How much?</i>	Não se aplica

fonte: elaborado pela autora.

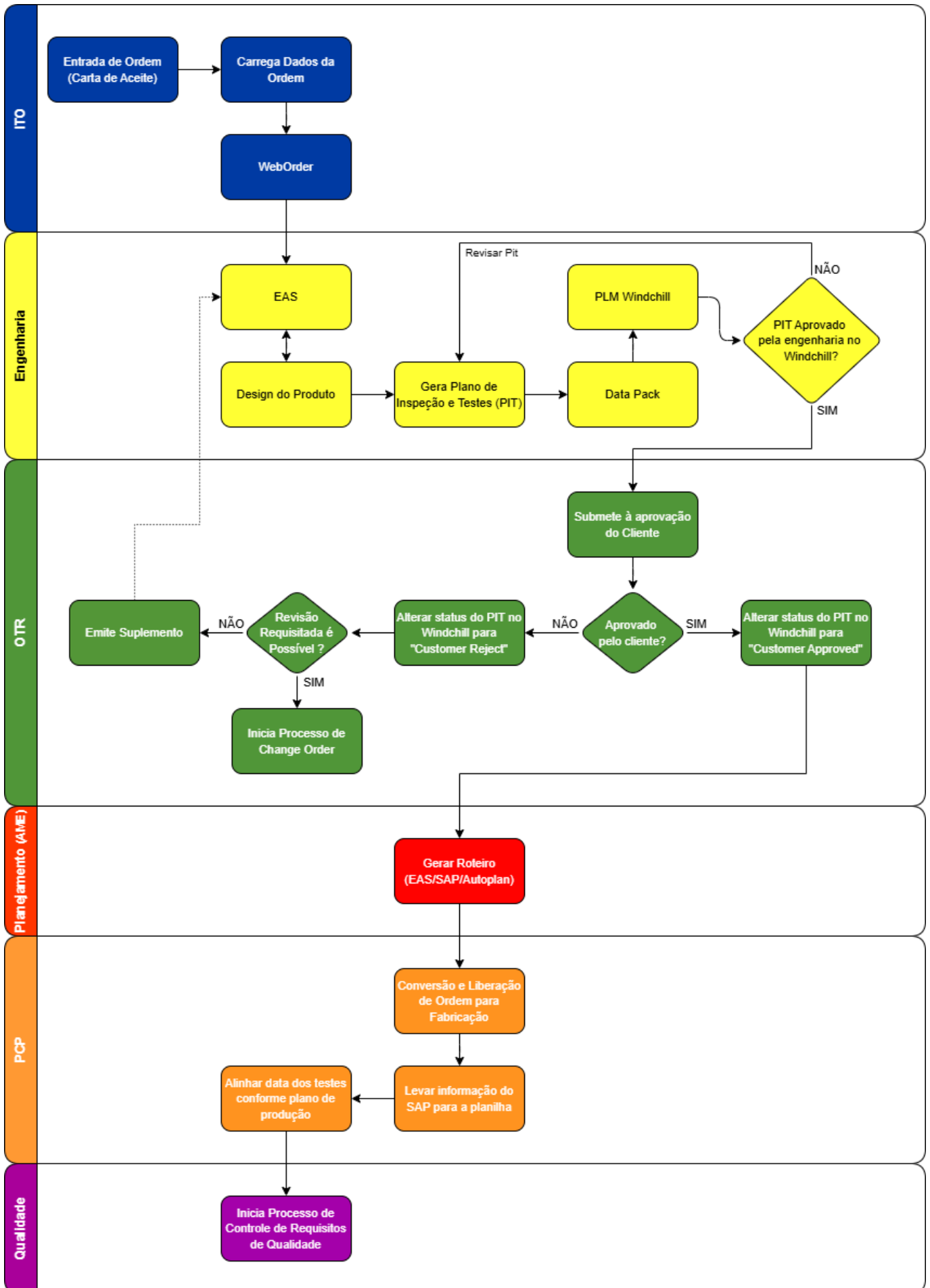
A construção do plano de ação por meio da ferramenta 5W2H foi fundamental para garantir a organização e a clareza na implementação das melhorias.

## 5.5 RESULTADOS DA ETAPA CONTROLAR

### 5.5.1 Atualização do Fluxograma e Documentação

Após reuniões com todas as áreas envolvidas no processo, foi realizada a atualização do fluxograma. A nova versão foi elaborada no formato *swimlane* (fluxograma em Raias), o que proporcionou uma representação visual mais clara, organizada e acessível, inclusive para pessoas com daltonismo. O fluxograma após a implementação da metodologia DMAIC, figura 13. apresenta um maior nível de detalhamento das etapas, destacando as responsabilidades específicas de cada área ao longo do processo.

Figura 13 – Fluxograma após a implementação do DMAIC



fonte: elaborado pela autora.

Ao comparar os dois fluxogramas, antigo e atual, é possível identificar diversas alterações significativas nos processos descritos.

Na área de Engenharia, foi inserida uma etapa de verificação da aprovação do PIT (Plano de Inspeção e Teste). Caso o PIT não seja aprovado, o processo retorna à etapa de elaboração de um novo plano. Se aprovado, o fluxo segue normalmente para as próximas fases.

Na área de OTR, observou-se um detalhamento mais minucioso das etapas. Em situações em que há a reprovação por parte do cliente, o status é atualizado no sistema para "*customer reject*" (rejeição do cliente). A partir disso, é realizada uma análise para verificar a viabilidade de uma revisão do processo ou do produto.

Uma nova etapa incorporada no fluxograma atual é a da área de PCP (Planejamento e Controle da Produção). Esta etapa é responsável por converter e liberar as ordens de produção para a fabricação, além de extrair relatórios do sistema SAP para preenchimento e atualização da planilha de sustentabilidade do projeto. Em seguida, também cabe à área de PCP alinhar as datas de testes conforme o plano de produção.

Por fim, o processo segue para a área da Qualidade, cuja responsabilidade é assegurar que todas as informações sejam devidamente registradas, em conformidade com os requisitos do projeto, em colaboração com o time de Planejamento e Controle da Produção.

## 5.5.2 Cronoanálise

Após testemunhar os dois testes mais frequentes, foi obtido os resultados apresentados na tabela 2:

Tabela 2 – Resultado da aplicação da cronoanálise

<i>Surge Test Full Stator</i>				
Planejado (h)	Medido (h)	Diferença (h)	Ganho	Ganho no Projeto
2	0.75	1.25	R\$ 429.84	R\$ 13,760.00
<i>Surge Test Additional Coil</i>				
Planejado (h)	Medido (h)	Diferença (h)	Ganho	Ganho no Projeto
4	0.25	3.75	R\$ 1,289.51	R\$ 44,422.45

fonte: elaborado pela autora.

A aplicação da cronoanálise demonstrou que o teste "*Surge Test Full Stator*" tinha uma previsão de execução de 2 horas. No entanto, o tempo efetivamente utilizado foi de 0,75 horas, o que resultou em uma diferença de 1,25 horas. Isso representa uma redução de 62,5% no tempo de execução. Com essa diminuição de horas, foi possível gerar uma economia de R\$ 429,84.

Por outro lado, o teste "*Surge Test Additional Coil*" estava inicialmente planejado para 4 horas de execução, mas o tempo real utilizado foi de apenas 0,25 horas, o que gerou uma diferença de 3,75 horas. Essa redução corresponde a 93,75% do tempo inicialmente previsto, gerando uma economia de R\$ 1.289,51.

É importante ressaltar que o valor mínimo de economia foi calculado considerando a redução do tempo de execução para as máquinas de um mesmo projeto. Nesse contexto, ao aplicar os testes mencionados em vários equipamentos, o impacto financeiro total foi significativo, resultando em uma

economia de R\$ 13.760,00 no caso do "*Surge Test Full Stator*" e de R\$ 44.422,45 no caso do "*Surge Test Additional Coil*", em um projeto com várias unidades.

### **5.5.3 Planilha de Controle do Projeto**

Com o intuito de garantir que as melhorias implementadas continuem em vigor, foi desenvolvida uma planilha de controle para centralizar as informações relacionadas aos testes de processo. Essa ferramenta reúne dados relevantes sobre cada teste realizado, incluindo as horas planejadas e as horas efetivamente medidas. Após a execução de cada teste, as horas medidas são registradas na planilha, permitindo o monitoramento contínuo do desempenho. Com o acúmulo desse histórico, torna-se possível identificar padrões, avaliar a eficácia das mudanças e implementar melhorias contínuas de forma estruturada.

Para garantir a atualização constante dessas informações, foi criada uma coluna específica para inserção do tempo real dos testes à medida que eles eram executados. A atualização da planilha ocorre durante as reuniões semanais de programação dos testes, conduzidas pelo time de Planejamento e Controle da Produção (PCP), responsável por esse acompanhamento.

Assim, é possível garantir maior precisão no controle das horas de teste, reduzindo discrepâncias entre o tempo planejado e o tempo efetivamente utilizado. Essa prática contribui para a padronização do processo, melhora a previsibilidade das operações e fortalece a cultura de melhoria contínua na organização.

## 6 CONCLUSÃO

Este Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo analisar e propor e implementar melhorias no processo de testes realizados durante a fabricação de motores elétricos de médio e grande porte, com foco na divergência entre as horas planejadas e as horas efetivamente registradas. Para isso, foi aplicada a metodologia DMAIC, associada a ferramentas da qualidade como o Diagrama de Ishikawa e a técnica dos 5 Porquês, permitindo uma análise detalhada das causas do problema e definição de ações corretivas.

Através de cronoanálises e do mapeamento do fluxo de trabalho, foi possível identificar falhas operacionais, problemas de comunicação e inconsistências nos registros, fatores que contribuíam para a diferença entre os tempos planejados e reais. Com base nessas análises, foram propostas melhorias que visam tornar o processo mais eficiente, reduzir custos e aumentar a confiabilidade das estimativas de tempo.

### 6.1 CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO

Este trabalho trouxe contribuições significativas para a organização e otimização dos testes de processo, promovendo a padronização do fluxo operacional, a revisão e correção de informações técnicas nos documentos de apoio e a aplicação estruturada de ferramentas de melhoria contínua. Entre os principais resultados, destaca-se a criação de uma planilha de controle, que centralizou os dados de testes e permitiu o registro contínuo das horas medidas. Isso proporcionou um acompanhamento sistemático, baseado em dados reais, fortalecendo a tomada de decisão e aumentando a confiabilidade do planejamento de produção.

Com base na cronoanálise realizada, foi possível identificar reduções expressivas no tempo de execução dos testes: no teste *Surge Test Full Stator*, a redução foi de 62,5%, resultando em uma economia de R\$ 13.760,00; já no teste *Surge Test Additional Coil*, a redução foi de 93,75%, gerando uma economia de R\$ 44.422,45, considerando a aplicação em todas as unidades do projeto.

Além disso, os resultados superaram as expectativas iniciais descritas no *team charter* do projeto, que previa uma redução mínima de 30% no impacto ao negócio. Os ganhos obtidos ultrapassaram essa meta, demonstrando a efetividade das ações implementadas e reforçando a importância do uso de ferramentas da qualidade para o aumento da eficiência operacional.

### 6.2 LIMITAÇÕES E DESAFIOS DO ESTUDO

Durante o desenvolvimento do projeto, algumas limitações foram identificadas. Uma delas foi a restrição de acesso físico às áreas de teste, o que tornou necessário realizar a cronoanálise por meio de videoconferência, limitando a observação direta de determinadas variáveis. Também houve limitação de tempo disponível para o acompanhamento do processo, o que exigiu priorização das análises. Outro desafio importante foi a necessidade de envolvimento contínuo de diversas áreas da empresa, o que demandou planejamento, comunicação eficiente e articulação entre diferentes times. Além disso, como

os testes de processo são executados sob diferentes condições operacionais e com variações de projeto, manter uma padronização completa também é um desafio.

### 6.3 OPORTUNIDADES DE ESTUDOS FUTUROS

Este estudo abre diversas possibilidades de aprofundamento. Uma delas é a análise estatística mais robusta dos dados coletados na planilha de controle, com a aplicação de modelos preditivos para estimar o tempo de testes de acordo com as características do equipamento. Outra oportunidade consiste em refazer o gráfico de Pareto utilizando diferentes variáveis de análise, como custo e tempo, e não apenas a frequência dos testes, permitindo identificar prioridades sob novas perspectivas. A digitalização e automação do registro das informações, com integração a sistemas ERP, também representa uma oportunidade relevante para aumentar a rastreabilidade, reduzir falhas humanas e agilizar o processo de controle. Além disso, a abordagem de melhoria contínua empregada neste trabalho pode ser estendida a outras etapas produtivas da empresa, como os testes realizados nas máquinas finalizadas, promovendo ganhos de eficiência em um escopo ainda mais amplo.

Além dos ganhos específicos obtidos no ambiente analisado, os conceitos aplicados ao longo deste trabalho reforçam a relevância das ferramentas da qualidade em diversos setores industriais, incluindo a indústria aeronáutica. Nesse setor, caracterizado por exigências rigorosas de segurança e confiabilidade, a aplicação de práticas sistemáticas de gestão da qualidade é essencial para garantir conformidade com padrões nacionais e internacionais. (OLIVEIRA, 2009)

Em um cenário de crescente globalização e integração entre clientes e fornecedores, é fundamental que as empresas tenham controle não apenas sobre os custos, mas principalmente sobre a qualidade alcançada. Na indústria aeronáutica, por exemplo, muitos dos requisitos exigidos por órgãos como a *Federal Aviation Administration* (FAA) ou o antigo Departamento de Aviação Civil (DAC) ultrapassam os padrões internacionais de qualidade, exigindo dos fabricantes a adoção de medidas adicionais de controle. (OLIVEIRA, 2009)

Para isso, torna-se indispensável o uso de ferramentas da qualidade que permitam reconhecer e atuar sobre as diferenças entre normas globais e requisitos específicos de cada projeto. Nesse contexto, a experiência adquirida na condução deste trabalho evidencia como a aplicação de metodologias como DMAIC e ferramentas da qualidade como Diagrama de Ishikawa e 5 Porquês contribuem para uma cultura de melhoria contínua.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, L. M. F.; FANDINO, C. A. **Sistema de controle da qualidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2020. E-book. p. 104. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595026155/>. Acesso em: 08 jul. 2025. ISBN 9788595026155.
- American Society for Quality. **Define Phase – Six Sigma DMAIC Process**. 2025. Accessed: 15 jul. 2025. Disponível em: <https://asq.org/quality-resources/dmaic/define>.
- BHARGAVA, M.; GAUR, S. Process improvement using six-sigma (dmaic process) in bearing manufacturing industry: A case study. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1017, n. 1, p. 012034, 2021. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1017/1/012034>.
- BOTEZATU, C.; AL. et. Use of the ishikawa diagram in the investigation of some industrial processes. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 682, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/682/1/012012/pdf>.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. [S.l.]: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.
- CARDOSO, J. R. **Máquinas Elétricas**. São Paulo, Brasil: Grupo GEN, 2010.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas**. [S.l.]: Atlas, 2010.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas**. 3. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2016. E-book, p. 74. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597006438/>. Acesso em: 08 jul. 2025. ISBN 9788597006438.
- CARPINETTI, L. C. R.; SILVA, C. H. P. da. **Integração ciclo PDCA e DMAIC com os fundamentos do BPM: um estudo de caso em uma empresa de móveis**. 2018. [https://www.researchgate.net/publication/324978235\\_Integracao\\_Ciclo\\_PDCA\\_e\\_DMAIC\\_com\\_os\\_fundamentos\\_do\\_BPM\\_um\\_estudo\\_de\\_caso\\_em\\_uma\\_empresa\\_de\\_moveis](https://www.researchgate.net/publication/324978235_Integracao_Ciclo_PDCA_e_DMAIC_com_os_fundamentos_do_BPM_um_estudo_de_caso_em_uma_empresa_de_moveis). Acesso em: 18 jun. 2025.
- Cleveland State University. **DMAIC - Improve Phase**. 2025. Disponível em: <https://www.csuohio.edu/dmaic-improve-phase>.
- COROA, H. D.; COSTA, C. H. R.; ALMEIDA, D. A. Avaliação da eficiência operacional em processos industriais: um estudo de caso. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 3, p. 456–472, 2010. Disponível em: SciELO. Acesso em: 18 jun. 2025.
- CRESWELL, J. W.; CRESWELL, J. D. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 6. ed. Porto Alegre: Penso, 2021. ISBN 9786555661187.
- Ember Energy. **Brazil's Clean Energy Transition: Electricity Generation Data**. 2025. <https://ember-energy.org/countries-and-regions/brazil/>. Acesso em: 7 ago. 2025.
- Ensinando Elétrica. **Gerador de Corrente Contínua**. 2016. <https://ensinandoeletrica.blogspot.com/2016/03/gerador-de-corrente-continua.html>. Acesso em: 7 ago. 2025.
- FERREIRA, J.; SILVA, F.; MESQUITA, D. Aplicação do seis sigma para melhoria de processos: um estudo de caso utilizando o dmaic em uma empresa de alimentos. **Gestão Produção**, v. 20, n. 2, p. 287–302, 2013.

FILHO, R. C.; SOUZA, J. P. de; ALVES, C. H. P. Integração ciclo pdca e dmaic com os fundamentos do bpm: um estudo de caso em uma empresa de móveis. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 11, n. 2, p. 46–71, 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/324978235>.

GOMES, J. C. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. Rio de Janeiro, Brasil: Grupo GEN, 2012.

HANSEN, J. Applying dmaic methodology to improve efficiency in the emergency department. **Journal of Healthcare Quality**, v. 32, n. 6, p. 39–47, 2010.

HARRY, M.; SCHROEDER, R. **Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations**. New York: Currency, 2000. ISBN 978-0385494319.

JÚNIOR, L. C. S. B. Método de análise e solução de problemas (masp) apoiado no ciclo pdca: um estudo bibliográfico. **Revista Brasileira de Administração Científica**, v. 7, n. 1, p. 6–13, 2016.

LILUANA, L. A new model of ishikawa diagram for quality assessment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 161, 2016. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/161/1/012099/pdf>.

LOBO, R. N. **Gestão da Qualidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2020. E-book, p. 59. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536532615/>. Acesso em: 08 jul. 2025. ISBN 9788536532615.

LOBO, R. N. **Gestão da Qualidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Érica, 2020. E-book. p. 59. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788536532615/>. Acesso em: 08 jul. 2025. ISBN 9788536532615.

MAP, B. **DMAIC: Measure Phase**. 2025. Accessed: 15 jul. 2025. Disponível em: <https://businessmap.io/blog/dmaic-measure-phase>.

MARIANI, C. A. Método pdca e ferramentas da qualidade no gerenciamento de processos industriais: um estudo de caso. **Innovation & Management Review**, v. 2, n. 2, p. 110–126, 2007. Publicação de 2005.

MCMURRAY, K.; SYED, J. The role of the “5 whys” in lean six sigma. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 7, n. 2, p. 164–176, 2016.

MCPHERSON, R.; SINGH, A.; THOMAS, P. Dmaic-based process improvement in healthcare: A case study approach. **Total Quality Management Business Excellence**, v. 33, n. 9-10, p. 1056–1072, 2022.

OHNO, T. **Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production**. Portland, OR: Productivity Press, 1988.

OLIVEIRA, O. J. **Gestão da Qualidade - Tópicos Avançados**. Porto Alegre: Cengage Learning Brasil, 2013. E-book. p. XVI. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788522113897/>. Acesso em: 08 jul. 2025. ISBN 9788522113897.

OLIVEIRA, O. J. de. **Gestão da Qualidade: Tópicos Avançados**. 1. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. ISBN 9788522107372.

OPRIME, P. C. de S.; MONSANTO, C. A.; DONADONE, J. C. Metodologia de melhoria contínua: um estudo de múltiplos casos em empresas brasileiras. **Produção**, SciELO Brasil, v. 20, n. 3, p. 388–401, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/WbxD7JzCK5X3FKycV4gpkzc/>.

PEZZATTO, A. T. et al. **Sistema de Controle da Qualidade**. Porto Alegre: SAGAH, 2018. E-book, p. 104. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595026155/>. Acesso em: 08 jul. 2025. ISBN 9788595026155.

PYZDEK, T.; KELLER, P. **The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels**. 3rd. ed. [S.l.]: McGraw-Hill Education, 2010.

RAMOS, A. C.; ALMEIDA, T.; ARAÚJO, M. **Gestão da Qualidade: conceitos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2013.

RAMOS, L. N. O. et al. **Geração de Energia Elétrica e suas Aplicações**. 2020. <https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/47031/1/Artigo%20-%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20Energia.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2025.

RODRIGUES, M. M.; FONSECA, L. H. d. S. Aplicação da metodologia dmaic para a melhoria de processos: um estudo de caso. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 1, p. 23–41, 2011. Acesso em: 06 mai. 2025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/sG7tkkD4p9RtmY55jVty8zC/>.

SILVA, D. B.; PEREIRA, C. L.; SANTOS, M. S. B. dos. A utilização das ferramentas da qualidade no processo de melhoria contínua: estudo de caso em uma empresa do setor automotivo. **Revista Gestão Industrial**, v. 11, n. 3, p. 142–160, 2015. Disponível em: <https://revistas.uninter.com/revistagestaouninter/article/view/1089>.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; BURGESS, N. **Administração da Produção**. 10. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2023. E-book, p. 661. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559775187/>. Acesso em: 08 jul. 2025. ISBN 9786559775187.

TORRES, J.; NADEAU, S.; LANDAU, Y. The challenge of manual assembly operations in the context of industry 4.0: Error sources and human factors. **Applied Sciences**, v. 11, n. 2, p. 749, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/2/749>.

UNIVERSITY, C. S. **Six Sigma DMAIC: Define Phase**. 2025. Accessed: 15 jul. 2025. Disponível em: <https://researchguides.csuohio.edu/define-phase>.

VIEIRA, L. A. B.; MAÇADA, A. C. G. Aplicação do pdca e masp no processo de melhoria contínua: estudo de caso em uma empresa metalúrgica. **Revista de Administração da UFSM**, v. 2, n. 2, p. 245–262, 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/1985>.

VILLAR, G. J. **Geradores e motores CC (máquinas de corrente contínua)**. 2006. <https://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-acionamentoseletricos/apostila-de-maquinas-de-cc-1>. CEFETR - Centro Federal de Educação Tecnológica do RN. Acesso em: 06 mai. 2025.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Werkema Editora Ltda, 2006.

ZHANG, H. et al. A review of process monitoring and fault diagnosis methods in electrical machines. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, 2021. Acesso em: 22 mai. 2025. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/09544054211016675>.