

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

LORENA SILVA NERIS CARON

**MELHORIA CONTÍNUA DA QUALIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS
NA PRODUÇÃO DE MÁQUINAS DE LAVAR ROUPAS: Um Estudo de
Caso com Six Sigma**

**Ilha Solteira
2026**

LORENA SILVA NERIS CARON

**MELHORIA CONTÍNUA DA QUALIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS
NA PRODUÇÃO DE MÁQUINAS DE LAVAR ROUPAS: Um Estudo de
Caso com Six Sigma**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
– Unesp como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheira Mecânica.

Prof. Dr. Wyser Jose Yamakami
Orientador

Ilha Solteira
2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

C293m Caron, Lorena Silva Neris.
Melhoria contínua da qualidade e redução de custos na produção de máquinas de lavar roupas: um estudo de caso com Six Sigma / Lorena Silva Neris Caron. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
100 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

Orientador: Wyser Jose Yamakami

Inclui bibliografia

1. Six Sigma. 2. DMAIC. 3. Engenharia de produção. 4. Melhoria contínua. 5. Redução de custos. 6. Qualidade industrial.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA – CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
ATA DA DEFESA – TRABALHO DE GRADUAÇÃO

TÍTULO: “MELHORIA CONTÍNUA DA QUALIDADE E REDUÇÃO DE CUSTOS NA PRODUÇÃO DE MÁQUINAS DE LAVAR ROUPAS: Um Estudo de Caso com Six Sigma”

ALUNA: Lorena Silva Neris Caron

RA: 201054078

Orientador: Prof. Dr. Wyser José Yamakami

Aprovado (X) – Reprovado () pela Comissão Examinadora

Nota obtida: 9,0

Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **WYSER JOSE YAMAKAMI**
Data: 24/04/2026 10:15:00-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Wyser José Yamakami
UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 **VICENTE AFONSO VENTRELLA**
Data: 24/04/2026 11:27:30-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Vicente Afonso Ventrella
UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 **JOSE GEDAEL FAGUNDES JUNIOR**
Data: 24/04/2026 11:16:33-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. José Gedael Fagundes Júnior
UNESP – Faculdade de Engenharia – Ilha Solteira

Documento assinado digitalmente
 **LORENA SILVA NERIS CARON**
Data: 24/04/2026 11:53:20-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Lorena Silva Neris Caron
Ilha Solteira (SP), 14 de abril de 2026

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por toda força que me deu ao longo dos anos, por não me deixar desistir dos meus sonhos, por iluminar e abrir meus caminhos e me manter firme no meu propósito.

Agradeço aos meus pais, Dilma da Silva Neris e Márcio Antônio da Silva, por todo apoio ao longo de toda minha vida, por serem minha base e por sempre fazer de tudo para que eu possa conquistar meus sonhos.

Aos meus padrinhos, por todos os ensinamentos, por também serem como pais para mim e me apoiando em todas as fases da minha vida.

Ao meu namorado, por ser meu companheiro para tudo desde o ensino médio, por estar ao meu lado em todos os momentos me dando apoio e me incentivando.

Agradeço a toda a minha família que contribuiu para quem sou hoje, me passando ensinamentos e valores que levarei para a vida toda.

Ao meu orientador, Wyser Jose Yamakami, que confiou em mim para essa pesquisa e me forneceu todo o apoio necessário e diversos ensinamentos.

Ao PET (Programa de Educação Tutorial), programa de pesquisa, ensino e extensão que tive o prazer de participar durante toda a universidade, sendo um grupo que participou efetivamente do meu amadurecimento, me auxiliando a trabalhar diversas habilidades acadêmicas e de vida.

Por fim à UNESP de Ilha Solteira, por fornecer toda a estrutura da minha jornada acadêmica, aos professores que contribuíram para a minha formação, por me tornarem a profissional que sou hoje e por ter sido o ambiente que marcou essa nova etapa da minha vida.

RESUMO

Este trabalho visa aplicar a metodologia Six Sigma, através do ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar), em uma linha de produção de máquinas de lavar roupas de uma fábrica brasileira, cujo objetivo é promover a redução de custos e promover a melhoria contínua da qualidade. O estudo se baseou na coleta e análise de dados quantitativos obtidos na linha de produção, nas reuniões com as equipes multifuncionais para identificar oportunidades de melhorias e na análise de relatórios internos. Durante a implementação do ciclo DMAIC, foram identificadas falhas no controle de custos, inconsistências em alguns sistemas de gestão, como *SAP®* e *BOM*, além de oportunidades de melhoria no processo produtivo. Por meio da utilização de ferramentas, como o Diagrama de Ishikawa, FMEA, Matriz de Priorização, foram desenvolvidas e implementadas, algumas soluções com alto impacto, incluindo o redesenho de componentes críticos, reorganização do fluxo produtivo, padronização dos fluxos operacionais e desenvolvimento da competência das equipes. Os resultados demonstraram uma redução média de R\$65 por produto, atingindo 54% da meta de redução de custos e um indicador de desempenho da qualidade, aumentando de 4,8 para 5,6 pontos. A integração do time multifuncional com a padronização dos processos e a gestão baseada em dados, favoreceu o desenvolvimento de uma cultura de melhoria contínua e eficiência operacional. Conclui-se que a aplicação sistemática do Six Sigma na engenharia de produção é eficaz para otimizar recursos, elevar a qualidade e fortalecer a competitividade industrial, servindo como modelo replicável para outras unidades produtivas.

Palavras-chave: Six Sigma; DMAIC; Engenharia de Produção; Melhoria Contínua; Redução de Custos; Qualidade Industrial.

ABSTRACT

This work aims to apply the Six Sigma methodology, through the DMAIC cycle (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control), to a washing machine production line in a Brazilian factory, with the objective of reducing costs and promoting continuous quality improvement. The study was based on the collection and analysis of quantitative data obtained from the production line, meetings with multifunctional teams to identify improvement opportunities, and the analysis of internal reports. During the implementation of the DMAIC cycle, flaws in cost control, inconsistencies in some management systems, such as SAP® and BOM, as well as opportunities for improvement in the production process were identified. Through the use of tools such as the Ishikawa Diagram, FMEA, and Prioritization Matrix, several high-impact solutions were developed and implemented, including the redesign of critical components, reorganization of the production flow, standardization of operational flows, and development of team competence. The results demonstrated an average reduction of R\$65 per product, achieving 54% of the cost reduction target and an increase in the quality performance indicator from 4.8 to 5.6 points. The integration of the multifunctional team with the standardization of processes and data-driven management favored the development of a culture of continuous improvement and operational efficiency. It is concluded that the systematic application of Six Sigma in production engineering is effective in optimizing resources, improving quality, and strengthening industrial competitiveness, serving as a replicable model for other production units.

Keywords: Six Sigma; DMAIC; Production Engineering; Continuous Improvement; Cost Reduction; Industrial Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Fluxograma do processo de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA)	30
Figura 2 -	Integração entre os indicadores	38
Figura 3 -	Integração entre os indicadores	39
Figura 4 -	O Método DMAIC do <i>Lean Six Sigma</i>	67
Figura 5 -	Fluxo de aplicação da metodologia Six Sigma (ciclo DMAIC) no estudo de caso	69
Figura 6 -	Fluxograma da origem e tratamento de dados	72
Figura 7 -	Distribuição das preferências dos consumidores	74
Figura 8 -	Metas de redução de custo e aumento de qualidade por categoria de produto	75
Figura 9 -	Principais inconsistências identificadas na higienização da BOM	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Integração entre PDCA e DMAIC como base para a melhoria contínua	20
Quadro 2 -	Estrutura da metodologia Six Sigma e seus pilares	24
Quadro 3 -	Principais Desafios e Soluções na Gestão da BOM	29
Quadro 4 -	Principais indicadores de desempenho (KPIs)	36
Quadro 5 -	Preferência do Mercado Consumidor de Lavadoras	74
Quadro 6 -	Descrição das atividades de acordo com o prazo de conclusão	76
Quadro 7 -	Componentes de descrição presentes na BOM	77
Quadro 8 -	Resultados da higienização da BOM	80
Quadro 9 -	Projetos Implementados	86
Quadro 10 -	Resultado do “ <i>Teardown</i> ”	87
Quadro 11 -	Indicadores de Desempenho (KPIs) Monitorados na Fase de Controle	91

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
FPY	<i>First Pass Yield</i>
DPMO	<i>Defects per Million Opportunities</i>
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i>
CONC	Custo da Não Conformidade
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
ABINEE	Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
CEP	Controle Estatístico de Processo,
VOC	<i>Voice Of Customer</i>
BOM	<i>Bill Of Materials</i>
PLM	<i>Product Lifecycle Management</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
MES	<i>Manufacturing Execution Systems</i>
DFMEA	<i>Design Failure Mode and Effects Analysis</i>
PFMEA	<i>Process Failure Mode and Effects Analysis</i>
DOE	<i>Design of Experiments</i>
RPN	<i>Risk Priority Number</i>
TCO	<i>Total Cost of Ownership</i>
GGPE	Grupo de Gestão de Projetos Estratégicos
P&L	<i>Profit and Loss Statement</i>
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
ROI	<i>Return on Investment</i>
CTQs	<i>Critical to Quality</i>
COV	Correlação e Variação
IoT	<i>Internet of Things</i>
GLSS	<i>Green Lean Six Sigma</i>
SAP®	<i>Systems Applications and Products in Data Processing</i>
SAC	Serviço de Atendimento ao Consumidor

SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>
FOB	<i>Free On Board</i>
LOF	<i>List of Fees</i>
QMS	<i>Quality Management System</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO.....	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1	A INDÚSTRIA DE MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS.....	17
3.2	MELHORIA CONTÍNUA DE QUALIDADE.....	18
3.3	REDUÇÃO DE CUSTOS NA INDÚSTRIA.....	20
3.4	ORIGEM E FUNDAMENTOS DO SIX SIGMA E DO CICLO DMAIC.....	22
3.5	<i>LEAN SIX SIGMA</i> (LSS): Integração com Princípios <i>Lean</i> e Ganhos Esperados.....	24
3.6	FERRAMENTAS CENTRAIS E SEU PAPEL NA REDUÇÃO DE CUSTOS.....	27
3.6.1	“<i>Bill of Materials</i>” (BOM) e Gestão de Custos por Componente.....	27
3.6.2	FMEA — Análise de Modos e Efeitos de Falha.....	29
3.6.3	Controle Estatístico de Processo (CEP).....	32
3.7	QUALIDADE E CUSTOS: Indicadores que Impactam na Produtividade de Lavadoras.....	34
3.7.1	Principais Indicadores de Custo e Qualidade.....	35
3.7.2	Integração e Aplicação Prática dos Indicadores.....	37
3.7.3	Relação dos Indicadores com a Melhoria Contínua e o DMAIC.....	39

3.8	GOVERNANÇA, TIME MULTIFUNCIONAL E MÉTRICAS FINANCEIRAS	41
3.8.1	Governança	41
3.8.2	Times Multifuncionais	43
3.8.3	Métricas Financeiras e Operacionais	45
3.9	MANUFATURA: Estudos e Casos Aplicáveis.....	47
3.9.1	Ensaio Controlado e Estudos de Campo	47
3.9.2	Aplicações na Indústria de Eletrodomésticos e Exemplos Corporativos	48
3.10	IMPACTO SOBRE CUSTOS: Mecanismos e Evidências Quantitativas.....	50
3.10.1	Principais Mecanismos de Redução de Custos	50
3.10.2	Evidências Quantitativas e Resultados Observados	52
3.11	LACUNAS, RISCOS E DESAFIOS PARA REPLICAÇÃO DA METODOLOGIA.....	53
3.12	SÍNTESE CRÍTICA E LACUNAS PARA A PESQUISA.....	55
3.13	ESTUDOS DE COV E DOE NA INDÚSTRIA DE LAVADORAS DE ROUPAS.....	56
3.13.1	Estudos de Correlação e Variação (COV)	57
3.13.2	Integração com <i>Lean Six Sigma</i> e a Indústria 4.0	58
3.14	INDÚSTRIA 4.0 E A DIGITALIZAÇÃO DOS PROCESSOS E QUALIDADE.....	59
3.15	SUSTENTABILIDADE, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CUSTOS AMBIENTAIS.....	61

3.16	FATORES HUMANOS E A CULTURA ORGANIZACIONAL NO <i>LEAN SIX SIGMA</i>	61
3.16.1	O Papel da Liderança.....	62
3.16.2	Capacitação e Desenvolvimento de Competências em <i>Lean Six Sigma</i>	62
3.17	PERSPECTIVAS FINAIS.....	63
4	METODOLOGIA	66
4.1	ETAPAS DO CICLO DMAIC.....	66
4.2	TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	67
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
5.1	DEFINIR.....	72
5.2	MEDIR.....	77
5.3	ANALISAR.....	81
5.4	MELHORAR.....	84
5.5	CONTROLAR.....	89
5.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
6	CONCLUSÃO	95
	REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

A busca pela redução de custos, melhoria contínua da qualidade e eficiência operacional está em crescente força em todos os setores e está intimamente relacionada ao ritmo acelerado atual do mercado. Agora que as coisas estão mudando e o mundo está avançando rapidamente, isso não é mais apenas um diferencial, mas um fator necessário que deve ser levado em conta e gerido. Nos eletrodomésticos, essa questão é apresentada como algo natural, mas, uma vez que se considera, tudo faz sentido. Em todos os processos envolvidos na produção de máquinas de lavar, são muito complexos e precisam ser mantidos pela indústria, em particular com a qualidade dos materiais e qualificação do pessoal. O controle de qualidade e a gestão de resíduos também são essenciais na produção diária e devem ser assim em uma organização neste mundo.

De acordo com a Associação Nacional de Fabricantes de Eletrônicos (ELETROS, 2024), o mercado brasileiro de eletrônicos alcançou cerca de R\$117 milhões em vendas de eletrodomésticos em 2024, registrando um crescimento de 29%. E é algo mais que revelador quando o número de bens duráveis, como por exemplo geladeiras, fogões e máquinas de lavar, também cresceu 17%, de 13,3 milhões para 15,6 milhões. No fim das contas, esses números ajudam a traduzir a força e a expansão desse mercado no cenário atual. Todas essas coisas combinadas mostram o quanto esse setor avançou tão rapidamente e agora está neste cenário atual. No entanto, o setor enfrenta problemas como custos de produção mais altos e a demanda dos consumidores por "produtos melhores" (Governo Federal do Brasil, 2025).

Nesse contexto, não é possível imaginar competitividade se não mencionar a estratégia bem planejada. Isso não significa apenas melhorar instantaneamente para se sair melhor em determinados momentos, mas ter um caminho consistente para melhorar, reduzir custos e tornar os processos mais eficientes novamente. No espaço dos bens duráveis, especialmente na indústria de máquinas de lavar, essa necessidade é mais evidente quando a produção é tão grande e a operação difícil e a qualidade é tão alta. Ferramentas de melhoria contínua (como o Six Sigma) são necessárias nesse campo.

O Six Sigma, desenvolvido com a Motorola na década de 1980 e posteriormente seguido por corporações como a General Electric como um campo inovador na melhoria de software e hardware, propõe uma estratégia orientada por dados que minimiza defeitos e variabilidade nos processos (PANDE et al., 2001). Ele tem um método central: o ciclo Definir, Medir, Analisar e Melhorar (DMAIC), que descreve a resolução de problemas em termos de análise quantitativa e técnicas de gestão de processos (MONTGOMERY, 2016).

A implementação do Six Sigma, no entanto, em fábricas de eletrodomésticos mostrou sua força na prática. O ciclo DMAIC é estruturado em 5 etapas: Na chamada fase de "Definir", que busca delimitar o escopo do problema e identificar os requisitos críticos da qualidade. Já na fase "Medir", são coletados dados do processo atual para estabelecer uma linha de base estatística e mensurar a magnitude do problema por meio de indicadores (GEORGE, 2002).

Na fase de "Análise", as causas raízes são exploradas com ferramentas como o Diagrama de Ishikawa e o Gráfico de Pareto, guiando o investigador em direção ao que pode ser alcançado. Na fase de "Melhoria" ("Improve"), eles fornecem soluções em sintonia com a realidade do processo, custo, impacto e aplicabilidade. Na fase de "Controle", as melhorias também serão mantidas quando a padronização e o monitoramento forem seguidos para garantir que a melhoria não se perca ao longo do tempo e resultados consistentes sejam alcançados (SLACK et al., 2023).

2 OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GERAL

Aplicar a metodologia Six Sigma, por meio do ciclo DMAIC, em uma linha de produção de máquinas de lavar em uma fábrica brasileira, com o objetivo de reduzir defeitos, retrabalhos e custos operacionais. Mas, no fundo, a proposta vai um pouco além disso: trata-se de fazer com que a melhoria contínua deixe de ser apenas um conceito distante, quase engessado no papel, e passe, pouco a pouco, a ganhar vida dentro da operação. Que ela se misture à rotina, como um movimento quase silencioso, mas constante, moldando decisões, ajustando processos e conduzindo, de forma natural, a resultados mais sólidos e sustentáveis ao longo do tempo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os problemas de qualidade mais críticos e estabelecer metas de desempenho alinhadas aos indicadores estratégicos do processo;
- Mensurar as variáveis críticas do processo produtivo, por meio do acompanhamento de indicadores-chave de desempenho (KPIs), como First Pass Yield (FPY), defeitos por milhão de oportunidades (DPMO), Mean Time Between Failures (MTBF) e Custo da Não Conformidade (CONC);
- Analisar as causas raízes das falhas e perdas utilizando ferramentas da qualidade, como a Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), permitindo a identificação da origem dos problemas;
- Melhorar o desempenho dos processos por meio da implementação de ações corretivas e preventivas que, aos poucos, vão ajudando a reduzir desperdícios e retrabalhos e, com isso, tornam o fluxo produtivo mais leve, mais organizado e mais estável no dia a dia;
- Controlar os resultados obtidos, garantindo que as melhorias implementadas não se percam com o tempo, mas que passem a fazer parte da rotina operacional de forma quase natural, sustentando os ganhos alcançados e mantendo a evolução do processo de forma contínua.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Este tema é de grande relevância para o setor industrial, principalmente no caso de eletrodomésticos, isso se deve devido a importância na economia global, como no caso do Brasil onde a competitividade entre os fabricantes de linha branca ocorre devido aos processos produtivos cada vez mais eficientes e padronizados.

Através do estudo da literatura, é possível compreender a abordagem da relação entre custo e qualidade de diferentes autores e ensinamentos sobre a gestão de qualidade. Ademais, conseguimos analisar a importância de termos as metodologias interligadas para que possamos ter melhores resultados na produtividade, confiabilidade e, principalmente, competitividade, como o caso do *Six Sigma*, *Lean Manufacturing* e *Kaizen*.

Para a indústria, a aplicação da melhoria contínua e a redução de custos, são temas devidamente importantes da engenharia de produção e da gestão de qualidade. De acordo com SYAMIL et al. (2023), o surgimento de metodologias, como *Six Sigma* e *Lean Manufacturing*, tiveram como foco, responder à necessidade de reduzir a variabilidade do processo, eliminando desperdícios e aumentar a eficiência operacional, com foco simultâneo em qualidade e resultado financeiro.

Na indústria de eletrodomésticos, esses métodos têm sido aplicados para tratar problemas típicos como altos custos de componentes, retrabalho, variação de processo e complexidade de portfólio, os quais são fatores que afetam a competitividade. Estudos empíricos e revisões sistemáticas apontam que intervenções baseadas em DMAIC e integração *Lean* tendem a gerar reduções mensuráveis de custo e melhora nos indicadores de qualidade quando bem governadas (SYAMIL et al., 2023).

3.1. A INDÚSTRIA DE MÁQUINAS DE LAVAR ROUPAS

Os eletrodomésticos, em particular, são importantes na economia global (assim como na economia nacional), com seu papel sendo óbvio na vida das pessoas. Dentro da chamada indústria de "linha branca", que inclui produtos como máquinas de lavar, geladeiras, fogões e freezers, as máquinas de lavar são mais comumente vistas, mesmo de fora, no uso cotidiano. Baseado principalmente na

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE, 2023), o mercado consome bilhões de reais e cria milhares de empregos diretos dentro deste setor, que está gradualmente emergindo como parte da indústria de bens duráveis.

Há uma pesquisa que indica que as máquinas de lavar já estão presentes na maioria dos lares brasileiros, e isso não é por acaso (IMARC GROUP, 2025). Há uma crescente preferência dos consumidores pela facilidade de vida e uma melhor qualidade de vida proporcionada pela opção mais conveniente. Mais eficiência, mas também as empresas prestam atenção à inovação, que está impulsionando a melhoria de seus processos de produção sempre.

Com isso em mente, o INMETRO é crucial tanto na definição dos requisitos mínimos de desempenho e eficiência energética desses produtos quanto no desenvolvimento de normas. Em seguida, orienta os fabricantes sobre as melhores maneiras de tornar a lavagem mais eficiente, com menos energia e menos desgaste, que também podem ser usadas sob padrões de qualidade de mercado muito mais elevados e à medida que se aproximam para abordar essa situação emergente com consumidores cada vez mais exigentes (INMETRO, 2022).

3.2. MELHORIA CONTÍNUA DE QUALIDADE

Melhoria contínua da qualidade tem como base o ideal de que os processos produtivos devem ser avaliados e aprimorados, constantemente. O Deming (1990) foi um dos pioneiros ao propor o ciclo *Plan, Do, Check, Act* (PDCA), um dos instrumentos mais utilizados para sistematizar ações de melhoria. Este sistema propõe que a qualidade não deve ser vista apenas como um projeto isolado, mas sim como um esforço permanente e integrado à cultura organizacional.

Com base em estudos recentes, a adoção estruturada da melhoria contínua, seja pelo uso PDCA ou por integrado do *Lean Six Sigma* (LSS), resulta em ganhos tangíveis em eficiência, qualidade e desempenho organizacional (ABUALSAUOD, 2025; GOLOR et al., 2025). Os estudos, apontados a seguir, reforçam isso:

- Um estudo realizado em uma linha de produção mecânica, documenta que a aplicação do *Lean Six Sigma* juntamente com ferramentas de qualidade, resultou em melhorias significativas na produtividade e na qualidade, evidenciando

que a sinergia entre técnicas de eliminação de desperdícios e controle estatístico é altamente eficaz (DUC et al., 2022);

- Um estudo de melhoria contínua baseado em *Lean Six Sigma* aponta que cerca de 60% das atividades são classificadas como “*non value added*” (atividades que não agregam valor, desperdício), além de 35% como “*non necessary non value added*”. A partir da reestruturação dos processos, houve redução de desperdícios relacionados a defeitos, processamento inadequado e esperas, confirmando o papel de melhoria contínua na eliminação de desperdícios e na melhoria da performance produtiva (HINES et al., 2004).

Esses estudos apontados acima, mostram que assim como os teóricos já defendiam, a busca por qualidade deve ser contínua, sistêmica e integrada à operação da empresa, não apenas um projeto isolado.

Dessa forma, Juran (1992) destaca que para a empresa, a busca por qualidade está diretamente relacionada à satisfação do cliente e à competitividade empresarial. Seguindo o raciocínio de Juran, o gerenciamento da qualidade se deve de um processo estratégico, no qual cada colaborador da organização possui responsabilidade direta no alcance de padrões superiores de desempenho. Por sua vez, George (2002), destaca que o investimento em prevenção de falhas e melhorias sistemáticas reduz custos totais, evitando gastos com retrabalho e insatisfação dos consumidores.

Para o setor industrial, a melhoria contínua atua como ferramenta essencial para o aumento na produtividade, redução de falhas e otimização de recursos. Segundo Slack et al. (2023), as empresas que utilizam de práticas estruturadas de melhoria conseguem alinhar eficiência operacional a níveis superiores de qualidade, gerando uma maior competitividade no mercado. No caso da linha branca, das máquinas de lavar roupas, essas práticas possuem uma maior relevância, visto que os consumidores buscam produtos que tenham uma maior eficiência energética, durabilidade, praticidade e menor impacto ambiental.

Em sequência, o conceito de melhoria contínua evoluiu para além do conceito do PDCA e foi incorporado em métodos como o *Six Sigma* e o *Lean Manufacturing*. No entanto, todas essas metodologias são complementares para que possamos estruturar ferramentas estatísticas e gerenciais, as quais são capazes de identificar causas de falhas e eliminar desperdícios. Sendo assim, a melhoria contínua não

deve ser vista apenas como uma filosofia, mas sim como uma prática operacional sistematizada, com forte impacto nos custos e na competitividade organizacional.

O Quadro 1, mostra a relação entre o ciclo PDCA e o DMAIC como base para a melhoria contínua.

Quadro 1: Integração entre PDCA e DMAIC como base para a melhoria contínua.

Ciclo	Etapas Principais	Foco Principal	Aplicação na Indústria
PDCA	Planejar, Executar, Verificar e Agir	Controle e melhoria de processos	Processos de rotina
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar	Melhoria baseada em dados	Processos críticos

Fonte: Elaborada pela própria autora.

3.3. REDUÇÃO DE CUSTOS NA INDÚSTRIA

Um dos principais objetivos estratégicos nas organizações é a redução de custos, tema que caminha lado a lado com as iniciativas de qualidade. Mais do que simplesmente controlar despesas, o desafio está, sobretudo, em eliminá-las na origem, quase como quem corta o problema pela raiz, por meio da prevenção de falhas e do enfrentamento sistemático dos desperdícios. Nessa linha de raciocínio, o estudo de Hines et al. (2004) indica que uma parcela significativa dos custos operacionais em ambientes industriais está associada a atividades que não agregam valor, o que sinaliza um campo fértil para ações estruturadas de melhoria contínua.

É nesse contexto que a filosofia *Kaizen* ganha destaque, ao propor melhorias graduais e constantes que, embora discretas à primeira vista, acabam por produzir efeitos bastante expressivos ao longo do tempo. Em certa medida, trata-se de um processo silencioso, mas persistente, no qual pequenas mudanças se acumulam até transformar o desempenho organizacional. Conforme evidenciado por Imai (2012), a aplicação consistente do *Kaizen*, especialmente quando combinada com

padronização e gestão visual, pode resultar em reduções relevantes nos desperdícios operacionais, particularmente em ambientes de manufatura.

Sob outra perspectiva, Slack et al. (2023) destacam que, em mercados cada vez mais competitivos, não há espaço para dissociar redução de custos e qualidade. Isso porque a simples diminuição de recursos, quando não acompanhada de controle e estabilidade dos processos, pode comprometer o desempenho do produto ou serviço, gerando, em um movimento quase paradoxal, retrabalhos e custos ainda mais elevados no longo prazo. Por isso, as práticas de gestão de operações precisam, em certa medida, encontrar um ponto de equilíbrio que não seja apenas teórico, mas efetivamente praticável no dia a dia organizacional. Trata-se de alinhar a otimização de recursos a padrões consistentes de qualidade, de modo que ganhos operacionais não venham acompanhados de perdas silenciosas em desempenho. Nesse sentido, o que se busca é uma harmonia operacional, quase como um ajuste fino que evita excessos e corrige desvios antes que se tornem evidentes. Esse entendimento é reforçado por George (2002), ao demonstrar que investir na prevenção e no controle tende a ser, no longo prazo, mais econômico do que arcar com os efeitos, muitas vezes ampliados, de falhas internas e externas.

No contexto das indústrias de eletrodomésticos, essa busca por eficiência econômica ganha intensidade e, por assim dizer, ritmo próprio. Trata-se de um setor em constante transformação, no qual os avanços tecnológicos surgem quase como sinais antecipados de novas exigências, enquanto a competitividade impõe um movimento contínuo de adaptação. Soma-se a isso o papel das regulamentações relacionadas à eficiência energética e à sustentabilidade, que, ao mesmo tempo em que orientam, também impulsionam mudanças mais rápidas e estruturadas. Nesse cenário, as organizações operam em um estado de ajuste permanente, como se calibrassem seus processos em tempo real, tentando conciliar inovação, custo e qualidade sem que um elemento sobreponha o outro.

Diante desse panorama, metodologias como *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* passam a ser adotadas de forma integrada, dando origem ao *Lean Six Sigma*. De um lado, o *Lean* atua na identificação e eliminação de desperdícios, promovendo maior fluidez nos processos; de outro, o *Six Sigma* concentra-se na redução da variabilidade e na busca por níveis elevados de qualidade. Juntas, essas abordagens funcionam como camadas complementares de um mesmo sistema, no

qual eficiência e precisão se articulam de maneira consistente. Assim, mais do que ferramentas isoladas, configuram um modelo estruturado capaz de sustentar melhorias contínuas em ambientes cada vez mais exigentes.

Juntas, essas abordagens formam uma espécie de estrutura complementar, na qual eficiência e precisão caminham lado a lado. Estudo como o de Furterer (2009) demonstra que a aplicação dessas metodologias em ambientes industriais de grande escala pode gerar reduções significativas nos custos operacionais, além de melhorias relevantes em indicadores como tempo de ciclo e defeitos por unidade.

Na prática, essa integração já se reflete em diversas empresas do setor de linha branca, que vêm registrando reduções consistentes em retrabalho e desperdício de materiais. No fundo, o que se observa é que qualidade e custo não são forças opostas, mas dimensões complementares de uma mesma estratégia. Assim, torna-se cada vez mais evidente que a adoção de metodologias estruturadas, aliada a uma cultura organizacional orientada à melhoria contínua, não apenas sustenta resultados, mas também antecipa caminhos mais competitivos e sustentáveis para o futuro.

3.4. ORIGEM E FUNDAMENTOS DO *SIX SIGMA* E DO CICLO DMAIC

Na década de 1980, em um cenário industrial que já dava sinais claros de transformação, o *Six Sigma* surgiu na Motorola com o propósito de reduzir defeitos e elevar a confiabilidade dos processos produtivos. À medida que as exigências por qualidade se intensificavam, quase como um pano de fundo que se tornava cada vez mais nítido, essa abordagem foi, pouco a pouco, ganhando espaço e sendo incorporada por organizações como a General Electric e a Toyota, consolidando-se como uma referência em gestão da qualidade, conforme destacado por George (2002). O que se delineava naquele momento, ainda que de forma gradual, era uma mudança de mentalidade, na qual a tolerância a falhas deixava de ser aceitável e a consistência passava a orientar as decisões.

O *Six Sigma* estrutura-se a partir da combinação de ferramentas gerenciais e estatísticas organizadas no ciclo DMAIC, que direciona a resolução de problemas de maneira lógica e encadeada. Mais do que uma sequência de etapas, esse ciclo atua como um fio condutor que orienta o olhar organizacional, permitindo que aspectos

antes dispersos ou pouco visíveis passem a ser compreendidos com maior clareza. Nesse processo, os dados deixam de ser apenas números e passam a revelar padrões, quase como se ganhassem voz própria, conduzindo decisões mais seguras e intervenções mais assertivas.

A lógica do DMAIC apoia-se na coleta criteriosa de dados, na análise fundamentada em evidências, na priorização do que efetivamente gera impacto e na padronização das soluções implementadas. Assim, estabelece-se um fluxo contínuo de aprendizado e ajuste, no qual as melhorias deixam de ocorrer de forma isolada e passam a se sustentar ao longo do tempo. Em outras palavras, a metodologia não se limita a resolver problemas imediatos, mas contribui para a construção de processos mais estáveis, confiáveis e alinhados aos objetivos organizacionais, como se, gradualmente, cada melhoria pavimentasse o caminho para as próximas. Revisões sistemáticas mostram que a eficácia do *Six Sigma* depende criticamente da qualidade dos dados, competência estatística da equipe e do suporte gerencial. Projetos bem-sucedidos tipicamente combinam ferramentas clássicas, como por exemplo, Pareto, Ishikawa, FMEA e Controle Estatístico de Processo (CEP), com execução disciplinada das etapas DMAIC (SYAMIL et al., 2023).

Para o setor de lavadoras de roupas, o *Six Sigma* é relevante por lidar com processos de alta complexidade, permitindo identificar as causas raízes de defeitos que impactam diretamente a satisfação dos clientes e os custos. Segundo Furterer (2009), a aplicação do método *Six Sigma* em indústrias de manufatura possibilita reduções expressivas no índice de DPMO, além dos ganhos em produtividade e confiabilidade.

De acordo com Afifa e Damayanti (2023), ao analisar a produção de lavadoras do tipo *Twin Tub* (Tanquinho), antes da aplicação de melhorias com a metodologia DMAIC, foi possível identificar um DPMO de 251,69 e um nível sigma de aproximadamente 4,99. Com base na identificação das principais causas de falhas e da implementação das contramedidas necessárias, foi possível elevar o desempenho dessa linha, reduzindo os defeitos apresentados. Com isso, temos que é possível ter ganhos de qualidade e redução de custos por meio do *Six Sigma*, mesmo em processos produtivos que já estão consolidados.

Comparando a metodologia do *Six Sigma* com outras práticas, temos que este é um método quantitativo e mensurável, focado em reduzir variabilidades

estatísticas do processo e alcançar níveis superiores de qualidade. Enquanto, os outros métodos, como *Kaizen* e *Lean*, enfatizam a eliminação de desperdícios e melhoria incremental. Dessa forma, o *Six Sigma* se torna ainda mais importante para a produção de eletrodomésticos, visto que quaisquer pequenos desvios podem gerar falhas significativas, podendo gerar custos elevados para a empresa.

O Quadro 2, mostra o diagrama do *Six Sigma* com os principais elementos com foco no cliente, redução de variabilidade, base estatística e o ciclo DMAIC.

Quadro 2: Estrutura da metodologia *Six Sigma* e seus pilares.

Pilar <i>Six Sigma</i>	Descrição	Ferramentas
Foco no Cliente	Atendimento aos requisitos e expectativas	VOC (“ <i>Voice of Customer</i> ”)
Redução de Variação	Controle estatístico de processo	CEP, Histogramas, Gráficos de Controle
Base em Dados	Decisões apoiadas em análise quantitativa	Testes de hipóteses, Regressão
Melhoria Contínua	Aprimoramento constante dos processos	DMAIC

Fonte: Elaborada pela própria autora.

3.5. *LEAN SIX SIGMA* (LSS): Integração com Princípios *Lean* e Ganhos Esperados

O *Lean Six Sigma* vai, além de uma simples junção de metodologias. Na prática, ele reúne os princípios do *Lean Manufacturing* com as ferramentas estatísticas do *Six Sigma* e, aos poucos, constrói um sistema de melhoria contínua voltado tanto à eliminação de desperdícios quanto à redução da variabilidade dos

processos. É como se diferentes formas de enxergar a operação passassem a caminhar lado a lado, trazendo mais clareza e consistência para as decisões do dia a dia. Segundo George (2002), o *Lean* direciona esforços para dar fluidez ao fluxo de valor e tirar aquilo que não agrega resultado, enquanto o *Six Sigma* busca garantir que os processos operem dentro de padrões bem definidos, aumentando a confiabilidade. E, nesse encontro, como aponta Antony (2011), os resultados tendem a ser mais robustos do que quando essas abordagens são aplicadas separadamente.

De acordo com Hines et al. (2004), essa integração também ajuda a equilibrar as limitações naturais de cada metodologia. O *Lean*, por ser mais ágil e direto, às vezes não se aprofunda tanto nas análises; já o *Six Sigma*, com seu olhar mais minucioso, pode acabar tornando o processo mais demorado. Nesse contexto, o *Lean Six Sigma* surge como um ponto de equilíbrio, quase como um ajuste fino entre velocidade e precisão, permitindo que as melhorias avancem com estrutura, mas sem perder o ritmo. Além disso, conforme destaca Imai (2012), essa integração fortalece a melhoria contínua ao conectar o que acontece no dia a dia com análises mais profundas, orientadas por dados.

Sob essa perspectiva, ferramentas como o mapeamento do fluxo de valor, a padronização operacional, a redução de estoques, a otimização de layout e o balanceamento de linha passam a ter um papel importante na construção de processos mais enxutos e eficientes. Aos poucos, aquilo que antes passava despercebido começa a saltar aos olhos, facilitando a identificação de excessos e a melhoria do fluxo produtivo. No fim das contas, isso se traduz em processos mais ágeis e com menos desperdício.

Ao mesmo tempo, o *Six Sigma* traz técnicas como o Controle Estatístico de Processo, a Análise de Modos de Falha e Efeitos, os testes de hipóteses e os projetos de experimentos, que ajudam a entender melhor o comportamento dos processos. É aí que os dados deixam de ser apenas números frios e passam, de fato, a orientar decisões com mais segurança. Com isso, fica bem mais fácil identificar as causas dos problemas e desenvolver soluções mais consistentes. No fim das contas, ao integrar essas abordagens, o *Lean Six Sigma* se consolida como um caminho contínuo de melhoria, no qual eficiência e confiabilidade evoluem juntas, quase como dois lados da mesma moeda.

No setor de máquinas de lavar roupas, essa abordagem integrada ganha ainda mais relevância. Trata-se de um mercado competitivo e, convenhamos, bastante exigente, com margens apertadas e uma demanda crescente por customização, onde qualquer desvio pode custar caro. Pequenas variações em parâmetros como torque de parafusamento, vibração estrutural, dimensionamento de componentes plásticos, calibração de sensores e precisão de montagem podem impactar diretamente o desempenho do produto e a percepção de qualidade do consumidor. Ao adotar o LSS, as empresas passam a atuar simultaneamente na eliminação de desperdícios, como movimentações desnecessárias, estoques excessivos e tempos de espera, e na redução de defeitos que afetam indicadores como o FPY e aumentam os custos de retrabalho.

Com processos mais estáveis, a entrega de produtos mais consistentes e confiáveis acaba vindo quase como consequência. A aplicação disciplinada do ciclo DMAIC, integrada às práticas *Lean*, influencia diretamente indicadores estratégicos como MTBF, DPMO, *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) e CONC, fortalecendo o desempenho operacional e ampliando a competitividade industrial.

Organizações que colocam em prática o *Lean Six Sigma* com envolvimento real da alta gestão, uma boa governança e equipes multidisciplinares preparadas tendem a alcançar resultados que vão além do curto prazo. Não é só uma questão de ajustar indicadores, mas de construir uma base mais sólida, onde os processos passam a funcionar com mais estabilidade e previsibilidade. Assim, reduções de defeitos, ganhos de produtividade e melhorias na satisfação dos clientes deixam de ser exceção e passam a fazer parte da rotina.

Com o tempo, o *Lean Six Sigma* deixa de ser algo restrito ao nível operacional e começa, pouco a pouco, a influenciar decisões mais amplas dentro da organização. Conforme destaca George (2002), a incorporação da digitalização e o uso mais intensivo de dados ampliam ainda mais esse potencial, permitindo que as empresas entendam melhor seus processos e até antecipem problemas antes que eles cresçam.

Assim, a integração entre *Lean* e *Six Sigma* se consolida como uma estrutura consistente para otimizar custos, elevar a qualidade dos produtos e tornar as operações mais eficientes. No caso das empresas do setor de lavadoras de roupas, onde a confiabilidade e controle de custos são decisivos, essa abordagem deixa de

ser apenas interessante e passa, de certa forma, a ser indispensável para manter a competitividade e sustentar resultados ao longo do tempo.

3.6. FERRAMENTAS CENTRAIS E SEU PAPEL NA REDUÇÃO DE CUSTOS

3.6.1. “*Bill of Materials*” (BOM) e Gestão de Custos por Componente

A “*Bill of Materials*”, BOM como é mais conhecida no dia a dia das empresas, é o coração do cálculo financeiro de um produto. Trata-se da fonte primária para estimar custos diretos e indiretos de cada item que compõe aquilo que é fabricado. Conforme destaca Christopher (2010), a acurácia da BOM é determinante para decisões de planejamento, engenharia e suprimentos, influenciando diretamente a competitividade e a eficiência operacional. Em outras palavras, com a base incorreta, todo o restante pode “sair do trilho”.

Assim, a gestão eficaz da BOM não é apenas um requisito operacional, mas sim uma condição indispensável para monitorar e avaliar, com maior precisão, os resultados de iniciativas estratégicas de alto impacto. Entre essas iniciativas, destacam-se projetos de “*design-for-cost*” e iniciativas de “*sourcing*”, isto é, a busca por novos fornecedores ou a redistribuição de share entre os parceiros atuais.

Entretanto, a integridade dos dados e a confiabilidade das projeções financeiras podem ser comprometidas pelos desafios recorrentes na gestão do custo por produto. A literatura técnica e estudos aplicados mostram que inconsistências na BOM estão entre as causas mais frequentes de desvios entre economias projetadas e resultados efetivamente reportados (CHRISTOPHER, 2010). Essas falhas costumam aparecer sob a forma de cadastros incorretos de componentes e/ou fornecedores, desatualizações, ausência de versionamento adequado e divergências de informação, esses são alguns detalhes que parecem pequenos, mas que fazem grande diferença no resultado final.

O estudo de Slack et al. (2023), evidencia que problemas como códigos duplicados, obsolescência de itens, ausência de controle de versões e divergências entre BOM de engenharia e BOM de manufatura geram impactos significativos no custo padrão, no consumo real, no lead time e na confiabilidade das projeções financeiras. Do mesmo modo, erros na estrutura de produto podem comprometer

simulações de custo e análises de viabilidade, especialmente em setores com ampla variedade de modelos, como o de eletrodomésticos onde a complexidade, convenhamos, é elevada.

Outro desafio recorrente, apontado por pesquisas mais recentes, é a falta de integração entre sistemas de engenharia, manufatura e suprimentos. De acordo com Slack et al. (2023), demonstra que empresas sem integração sistêmica apresentam maior probabilidade de inconsistências nos dados mestres, afetando diretamente o product cost management. Também destacam que a fragmentação entre sistemas como *Product Lifecycle Management* (PLM), *Enterprise Resource Planning* (ERP) e *Manufacturing Execution Systems* (MES) dificulta o versionamento adequado da BOM e aumenta o retrabalho administrativo, no entanto retrabalho significa tempo e dinheiro desperdiçados.

Atualmente, existem ferramentas que ajudam a mitigar esses problemas e fortalecer a gestão de custos. Entre essas ferramentas, destacam-se a automatização da BOM e a integração com sistemas ERP, fundamentais para manter a lista de materiais atualizada e consistente ao longo do ciclo de vida do produto. Essa integração é essencial para garantir consistência, rastreabilidade e maior confiabilidade das informações.

Além disso, métodos avançados de análise, como análises de sensibilidade de custos, simulações probabilísticas e modelos preditivos baseados em Inteligência Artificial, vêm aumentando cada vez mais. Estudo de Sanakal (2025), demonstra que algoritmos de machine learning podem identificar anomalias de custo e prever impactos de alterações na BOM com elevado grau de precisão. Ou seja, a tecnologia, quando bem aplicada, deixa de ser apenas suporte e passa a ser aliada estratégica na tomada de decisão.

Em síntese, a literatura converge ao apontar que a integridade da BOM constitui um pilar estratégico para o controle de custos, para decisões mais ágeis e para a implantação bem-sucedida de projetos de redução de despesas. Não se trata apenas de manter uma lista organizada, mas de sustentar a base informacional sobre a qual repousam decisões críticas da empresa. No Quadro 3, são apresentados os principais desafios e respectivas soluções na gestão da BOM, um panorama que reforça a importância desse instrumento para a competitividade industrial.

Quadro 3: Principais Desafios e Soluções na Gestão da BOM.

Desafio	Impactos na Gestão de Custos	Soluções Recomendadas	Benefícios Esperados
Cadastro incorreto de componentes ou fornecedores	Gera divergências entre custos projetados e realizados	Implantação de processos padronizados de cadastro e validação automática via ERP	Maior precisão nas estimativas de custo
Falta de atualização e fornecimento da BOM	Distorce análises financeiras e afeta o planejamento de compras	Implementação de BOM automatizada com controle de versões e histórico de alterações	Confiabilidade dos dados e rastreabilidade de modificações
Integração limitada entre sistemas	Reduz a visibilidade sobre custos reais e prazos de produção	Integração sistêmica completa entre módulos de engenharia e finanças	Redução de retrabalhos e sincronização das informações
Dificuldade na simulação de custos de novos projetos	Atrasos em decisões estratégicas e baixa competitividade	Uso de análise de sensibilidade e inteligência artificial para simulação de cenários de custo	Aumento de velocidade de decisão e melhor planejamento financeiro
Dependência de planilhas manuais	Aumenta o risco de erros e inconsistências	Automação por sistemas ERP e plataformas colaborativas	Menos falhas humanas e mais eficiência operacional

Fonte: Elaborada pela própria autora.

3.6.2. FMEA — Análise de Modos e Efeitos de Falha

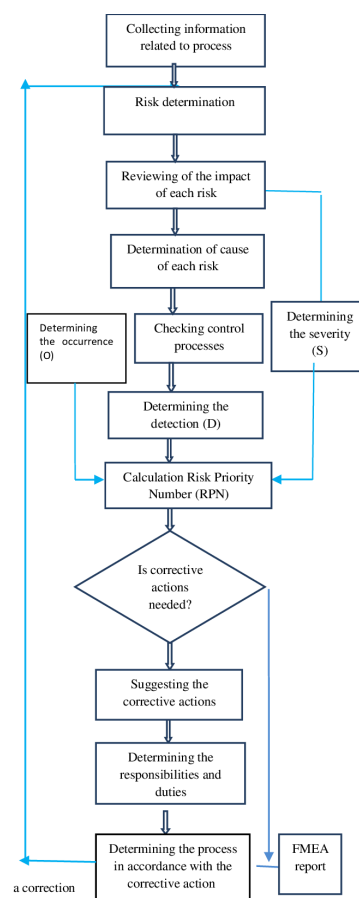
O FMEA é, sem exagero, uma das ferramentas mais clássicas e, olha, diga-se de passagem, das mais valiosas mesmo, quando o assunto é prevenir problemas na gestão da qualidade. Em linhas gerais, seu propósito é, basicamente, identificar, avaliar e priorizar possíveis falhas em produtos, processos ou sistemas antes que elas, de fato, aconteçam. Em outras palavras, é como “jogar luz” no que

poderia dar errado, antecipando riscos de projeto e propondo ações que reduzam tanto a probabilidade de ocorrência quanto os impactos no produto final.

Segundo Stamatis (2003), o FMEA se destaca justamente por permitir que os problemas sejam enxergados antes de chegarem ao cliente e isso, convenhamos, faz toda a diferença. Afinal, evita custos elevados, retrabalhos desnecessários e desgastes com garantia. Mais do que isso, a grande força do FMEA está justamente na sua capacidade de promover uma análise estruturada, sistemática e, acima de tudo, multifuncional das possíveis causas de falhas. Ou seja, não é só olhar o problema de um lado só, mas enxergá-lo por diferentes perspectivas.

De forma geral, o processo do FMEA, ilustrado na Figura 1, segue um caminho bem definido: começa lá na identificação dos modos de falha e vai, passo a passo, até a definição de ações corretivas e controles de monitoramento.

Figura 1: Fluxograma do processo de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA).



Fonte: STAMATIS, 2003.

Em outras palavras, é um percurso que organiza o raciocínio e ajuda a não deixar passar nada importante no meio do caminho. E, quando aplicado ainda nas fases de projeto e pré-produção, ele permite algo bastante estratégico: eliminar falhas “pela raiz”, antes mesmo de ganharem forma no produto. Resultado? Menos retrabalho, menos custo e um desenvolvimento bem mais fluido.

Além disso, o estudo de Stamatis (2003) na indústria mostra que o uso do FMEA, especialmente quando combinado com testes piloto e validações multifuncionais, ajuda a reduzir defeitos, aumentar a confiabilidade do produto e fortalecer os planos de controle. Afinal, quando diferentes áreas entram no jogo, a análise ganha mais profundidade e aqueles riscos que antes passavam batido começam, pouco a pouco, a saltar aos olhos.

Agora, vale dizer que o FMEA não é uma ferramenta “tamanho único”, daquelas que servem igual pra tudo. Muito pelo contrário: ele pode ser aplicado de diferentes formas, dependendo do foco da análise. Entre os principais tipos, destacam-se o FMEA de Sistema, o *Design Failure Mode and Effects Analysis* (DFMEA) e o *Process Failure Mode and Effects Analysis* (PFMEA). No fim das contas, todos caminham na mesma direção: antecipar, avaliar e mitigar riscos antes que eles, de fato, virem problema de verdade.

O FMEA de Sistema atua lá no início, com uma visão mais ampla, analisando falhas em nível de sistemas e subsistemas. Já o DFMEA entra no desenvolvimento do produto, focando em falhas de projeto, materiais e especificações, ou seja, tentando “segurar” o problema antes que ele avance para a manufatura. Por sua vez, o PFMEA olha para o chão de fábrica: processos, montagem, inspeção... é onde entram questões como variação de máquinas, erros operacionais e métodos de trabalho. E, claro, a partir disso, definem-se controles mais robustos e processos mais estáveis.

Quando bem aplicado o FMEA, especialmente em conjunto com DFMEA e PFMEA, aumenta a confiabilidade do produto e fortalece os planos de controle, ainda mais quando combinado com ferramentas estatísticas como CEP. Estudo como o de Stamatis (2003) mostra que essa integração reduz falhas, melhora indicadores de qualidade e, no fim das contas, impacta diretamente a percepção do cliente.

Por outro lado existem limitações, principalmente no cálculo do *Risk Priority Number* (RPN), que pode apresentar certa subjetividade e baixa sensibilidade. E foi justamente daí que surgiram versões mais avançadas.

Aliás, quando o FMEA é integrado ao *Lean Six Sigma*, o ganho é ainda mais evidente. Segundo Antony (2011), projetos DMAIC que utilizam o FMEA tendem a apresentar maior capacidade preditiva e reduções mais expressivas de DPMO. Isso porque o método ajuda a priorizar causas raízes com base no risco, e não só na frequência, o que torna as decisões muito mais assertivas.

No fim das contas, o FMEA não é só uma ferramenta técnica, é quase uma mudança de mentalidade. Ele ajuda a construir uma cultura voltada à prevenção, em vez de simplesmente correr atrás do prejuízo depois que o problema já apareceu. E, nesse sentido, sua aplicação sistemática dentro de metodologias como o *Six Sigma* se torna essencial para garantir processos mais robustos, confiáveis e, claro, muito mais eficientes.

3.6.3. Controle Estatístico de Processo (CEP)

O CEP é uma ferramenta da gestão da qualidade voltada ao acompanhamento sistemático da variabilidade dos processos produtivos. Desenvolvido por Walter A. Shewhart na década de 1920, o método foi estruturado com base em princípios estatísticos que permitem diferenciar dois tipos de variação: as causas comuns, que são aquelas inerentes ao próprio sistema e as causas especiais, que são associadas a fatores externos, falhas pontuais ou condições anormais de operação.

De modo geral, o CEP tem como finalidade assegurar que o processo opere de forma estável e previsível, mantendo-se dentro de limites previamente estabelecidos. Para isso, utilizam-se cartas de controle e outras representações gráficas que possibilitam acompanhar, ao longo do tempo, o comportamento de determinada característica da qualidade. A partir dessa visualização contínua, torna-se viável identificar desvios relevantes e intervir antes que eles comprometam o desempenho do processo.

Conforme destaca Montgomery (2016), a aplicação consistente do CEP contribui para a redução de desperdícios, a prevenção de defeitos e o aumento da

confiabilidade operacional. Essa ferramenta é amplamente incorporada à metodologia *Six Sigma*, especialmente nas etapas de Medir e Controlar do ciclo DMAIC, nas quais o rigor na coleta e análise de dados é indispensável para sustentar melhorias efetivas.

A literatura também aponta evidências consistentes quanto à eficácia do CEP em contextos industriais contemporâneos, que discutem avanços conceituais relacionados às cartas de controle e sua aplicação em ambientes produtivos complexos. Como por exemplo, Montgomery (2019) que demonstram que a integração do CEP com práticas de *Lean Manufacturing* potencializa ganhos relacionados à estabilidade operacional e à redução de variabilidade. Este também associa a adoção estruturada do CEP ao alcance de melhores indicadores de desempenho organizacional em setores manufatureiros.

Com a consolidação da Indústria 4.0, observa-se uma ampliação das possibilidades de aplicação do CEP. A digitalização dos processos produtivos, aliada à integração de sensores, sistemas ciberfísicos e bases de dados em tempo real, tem favorecido o desenvolvimento de abordagens digitais de controle estatístico. Nesse cenário, incorporam-se recursos como amostragem dinâmica, análise preditiva e painéis automatizados de monitoramento. Segundo Salacinski et al. (2023), tais avanços permitem respostas mais rápidas às variações do processo e maior efetividade no controle dos resultados após a implementação de melhorias.

Além disso, o estudo recente de Antony et. al (2022), evidencia a convergência entre CEP e técnicas de inteligência analítica, além de ressaltar o papel do CEP digital como elemento estruturante da manufatura inteligente, favorecendo decisões baseadas em dados e destacando sua relevância no controle da variabilidade em sistemas produtivos flexíveis e altamente automatizados. Como Montgomery (2019) que indica que a aplicação de métodos estatísticos e análise de dados pode ampliar a capacidade de previsão de falhas e desvios quando integrada ao controle estatístico tradicional.

Diante desse panorama, verifica-se que o Controle Estatístico de Processo deixou de ser apenas um instrumento de monitoramento para assumir uma função estratégica na gestão da qualidade. Ao integrar métodos estatísticos consolidados a tecnologias digitais emergentes, o CEP amplia sua capacidade de apoiar a tomada de decisão e sustentar iniciativas de melhoria contínua, contribuindo de forma

consistente para a excelência operacional nas organizações industriais.

3.7. QUALIDADE E CUSTOS: Indicadores que Impactam na Produtividade de Lavadoras

Para que a metodologia *Six Sigma* seja, de fato, implementada com eficácia, é fundamental contar com uma boa mensuração de desempenho. E aqui entram, os KPIs, que acabam sendo peças-chave nesse processo. São eles que permitem acompanhar, de forma estruturada e bem direcionada, a eficiência, a qualidade e os custos dos processos, ou seja, dão visibilidade ao que realmente está acontecendo.

Segundo Kaplan e Norton (2004), os KPIs funcionam como verdadeiros “tradutores” da estratégia, transformando objetivos mais amplos em metas mensuráveis. Com isso, facilitam a tomada de decisão baseada em dados, além de alinhar, quase que naturalmente, o que acontece no operacional com o direcionamento estratégico da organização.

No setor industrial de lavadoras de roupas, os KPIs de custo e qualidade assumem um papel central. É por meio deles que se consegue identificar gargalos, mapear perdas e, como se diz no dia a dia, “colocar números” em problemas como falhas, paradas não programadas e retrabalhos. A metodologia *Six Sigma*, vale lembrar, se apoia justamente nesse uso consistente de métricas que conectam qualidade, desempenho e custo, orientando decisões mais assertivas e, claro, baseadas em evidências (Pande et al., 2001). Em outras palavras, não é só medir por medir, mas usar os dados como um verdadeiro norte para as ações.

Conforme aponta Furterer (2009), o uso padronizado e contínuo desses indicadores é, sem dúvida, um dos fatores-chave para o sucesso das iniciativas de melhoria contínua, especialmente em ambientes industriais onde a pressão por eficiência é constante. Nesse contexto, indicadores como FPY, MTBF, Nível Sigma, DPMO e CONC permitem avaliar, de forma clara, objetiva e, por assim dizer, bem direcionada, o desempenho produtivo. No fim das contas, deixam de ser apenas números soltos e passam, de fato, a guiar as decisões estratégicas do negócio.

Além disso, o monitoramento contínuo desses indicadores traz ganhos importantes tanto para a operação quanto para o planejamento. Ao acompanhar esses dados de forma sistemática, a empresa consegue equilibrar produtividade e

satisfação do cliente, o que, convenhamos, não é tarefa simples no ambiente industrial. Segundo Werkema (1995), a eficácia dos programas de qualidade depende justamente da existência de métricas que evidenciem, na prática, o impacto das melhorias na redução de desperdícios, na estabilidade dos processos e na rentabilidade.

No caso da produção de máquinas de lavar roupas, esse acompanhamento deixa de ser apenas recomendável e passa a ser essencial. Afinal, é ele que sustenta a competitividade, garante a confiabilidade dos produtos e ajuda a manter os custos sob controle. Com uma mensuração bem estruturada, a gestão passa a ter em mãos informações concretas para decisões mais seguras e alinhadas à estratégia do negócio. E assim, pouco a pouco, vai se consolidando um ciclo virtuoso de melhoria contínua, onde eficiência produtiva e satisfação do cliente caminham juntas, como resultado de uma gestão orientada por dados e sustentada por indicadores consistentes.

3.7.1. Principais Indicadores de Custo e Qualidade

Com base nessa abordagem, é possível afirmar que alguns indicadores de desempenho se destacam na avaliação de custo e qualidade no setor industrial de máquinas de lavar roupas. Entre os principais, destacam-se:

- **FPY:** Refere-se à proporção de unidades que saem da linha de produção sem necessidade de retrabalho. Em termos práticos, mede “de primeira” o quanto o processo está entregando conforme o esperado. Trata-se de um indicador direto da eficiência operacional e da estabilidade do processo. Quando os índices de FPY são elevados, isso geralmente indica que o processo está bem controlado e que as perdas estão sendo mantidas sob controle (WERKEMA, 1995);
- **MTBF:** Avalia a confiabilidade tanto dos produtos quanto dos equipamentos de produção, fornecendo informações relevantes sobre a vida útil esperada e a frequência de falhas. É, portanto, um indicador-chave para o planejamento da manutenção preventiva. Afinal, quanto maior o MTBF, menor a recorrência de paradas inesperadas. Isso impacta diretamente o CONC e contribui para a redução de custos associados a interrupções produtivas (MONTGOMERY, 2016);

- **DPMO:** Indica a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades, permitindo uma avaliação estatística do desempenho do processo. Ao reduzir o DPMO, eleva-se o Nível Sigma, o que reflete maior qualidade e menor incidência de retrabalho (FURTERER, 2009). Em síntese, quanto menor esse índice, mais robusto e confiável tende a ser o processo produtivo;
- **CONC:** Abrange todos os custos relacionados à qualidade deficiente, desde despesas com prevenção e avaliação até falhas internas e externas. Monitorar o CONC possibilita identificar onde, de fato, estão concentradas as perdas financeiras e, a partir daí, direcionar investimentos para ações preventivas mais eficazes (WERKEMA, 1995);
- **Nível Sigma:** Expressa a capacidade do processo de produzir itens livres de defeitos, estando diretamente relacionado ao desempenho medido pelo DPMO. Assim, quanto maior o Nível Sigma, menor a probabilidade de falhas e maior a confiabilidade do processo. Trata-se, portanto, de um indicador-síntese da maturidade e do controle estatístico da operação.

Desse modo, a análise integrada desses KPIs não apenas fornece uma visão quantitativa do desempenho produtivo, mas também orienta decisões estratégicas voltadas à redução de custos e ao aumento da qualidade. No setor de máquinas de lavar roupas, em que margens e expectativas de confiabilidade são cada vez mais rigorosas, acompanhar tais indicadores deixa de ser uma opção e passa a ser, efetivamente, uma necessidade competitiva.

No Quadro 4, temos um resumo dos principais indicadores de desempenho, com seus respectivos objetivos e impactos na produção.

Quadro 4: Principais indicadores de desempenho (KPIs).

Indicador	Descrição	Unidade	Objetivo	Impacto na Produção
FPY	Proporção de un. produzidas em retrabalho	%de peças conforme/total de peças	Avaliar a eficiência operacional	Redução de desperdícios e retrabalho

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Quadro 4 (Continuação): Principais indicadores de desempenho (KPIs).

Indicador	Descrição	Unidade	Objetivo	Impacto na Produção
MTBF	Tempo médio entre falhas de equipamentos	Horas	Medir confiabilidade-equipamentos	Planejamento de manutenção preventiva
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades	Número Absoluto	Quantificar qualidade do processo	Redução de falhas e aumento do Nível Sigma
CONC	Custos associados a falhas e retrabalhos	R\$/Produto	Identificar perdas financeiras	Direcionar ações preventivas e corretivas
Nível Sigma	Capacidade do processo de produzir sem defeitos	Pontos de Nível Sigma	Avaliar performance do processo	Maior confiabilidade e redução de falhas

Fonte: Elaborada pela própria autora.

3.7.2. Integração e Aplicação Prática dos Indicadores

Há uma inter-relação direta entre os indicadores de custo e qualidade que impactam a produtividade industrial. Em outras palavras, esses indicadores não funcionam de forma isolada; ao contrário, “conversam” entre si o tempo todo. Essa conectividade fortalece o controle e qualifica a tomada de decisão nas operações, conforme discutido por Slack et al. (2023), ao destacarem que indicadores interdependentes permitem compreender o desempenho sistêmico da manufatura. George (2002) reforça esse entendimento ao afirmar que métricas integradas ampliam a capacidade de diagnóstico e tornam mais assertiva a priorização de melhorias contínuas. Ou seja, quando analisados em conjunto, os indicadores deixam de ser números soltos e passam a revelar, de fato, o comportamento do

sistema produtivo.

Entre essas inter-relações, destaca-se que o FPY afeta diretamente o DPMO, que, por sua vez, impacta o Nível Sigma. Estudo de Montgomery (2019) valida matematicamente essa relação no contexto do modelo *Six Sigma*, demonstrando que melhorias no desempenho “de primeira passagem” repercutem estatisticamente na redução de defeitos e na elevação do nível de capacidade do processo. Além disso, Montgomery (2016) e Pyzdek e Keller (2014) evidenciam que pequenas reduções no DPMO podem gerar ganhos expressivos em estabilidade, produtividade e redução do custo da não qualidade. Assim, aquilo que parece um ajuste pontual pode, na prática, desencadear efeitos amplos no desempenho global.

De modo semelhante, o MTBF exerce influência direta sobre custos de manutenção, falhas internas e retrabalhos. O aumento do MTBF reduz significativamente o custo total de propriedade (TCO) dos equipamentos, refletindo, consequentemente, no CONC. Stamatis (2003) complementam esse raciocínio ao demonstrar que indicadores de confiabilidade, quando integrados ao planejamento de manutenção, diminuem intervenções corretivas e elevam a disponibilidade operacional. Em síntese, quanto maior a confiabilidade, menor a surpresa e menor o custo associado às interrupções inesperadas.

O CONC, por sua vez, traduz financeiramente os efeitos das falhas identificadas pelos demais indicadores. O custo da não qualidade está fortemente relacionado às métricas de desempenho operacional, configurando-se como um dos principais direcionadores de competitividade e lucratividade na indústria. Em termos práticos, ele materializa, em valores monetários, aquilo que os demais indicadores apontam tecnicamente.

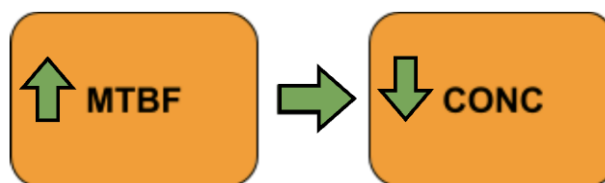
Nas Figuras 2 e 3 temos um diagrama que mostra exatamente a integração entre os indicadores.

Figura 2: Integração entre os indicadores.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Figura 3: Integração entre os indicadores.



Fonte: Elaborado pela própria autora.

Na produção de lavadoras de roupas, essa interdependência torna-se ainda mais evidente. O FPY pode ser monitorado em etapas críticas, como na instalação do motor, na montagem do tanque e nos testes finais, permitindo identificar gargalos e reduzir retrabalhos. Estudos aplicados ao setor de eletrodomésticos, como o de George (2002), já evidenciam esse comportamento na prática, mostrando que ajustes pontuais nessas fases impactam diretamente os indicadores globais.

Já o MTBF de motores e componentes elétricos orienta a definição de planos de manutenção preventiva, evitando falhas em garantia e custos de recall, que é a solicitação do fabricante para que o cliente devolva ou encaminhe o produto à assistência técnica para correção gratuita. Stamatis (2003) demonstra que a confiabilidade dos subsistemas mecânicos e eletromecânicos é determinante tanto para o desempenho da linha de produção quanto para a redução de custos no pós-venda. Afinal, problemas recorrentes em campo acabam retornando, de uma forma ou de outra, para dentro da organização.

Por fim, a redução do DPMO e do CONC reflete-se em economia de recursos, aumento da produtividade e maior satisfação do cliente. Antony (2011) comprova empiricamente que a integração entre métricas de qualidade e indicadores operacionais resulta em ganhos financeiros consistentes. Assim, quando esses indicadores são analisados de maneira articulada e cria-se uma base mais sólida para decisões estratégicas, reforçando a competitividade e sustentando iniciativas de melhoria contínua de forma estruturada e orientada por dados.

3.7.3. Relação dos Indicadores com a Melhoria Contínua e o DMAIC

A integração dos indicadores de desempenho às etapas do ciclo DMAIC constitui um dos pilares da gestão orientada por dados e da sustentação da melhoria contínua na indústria. Em outras palavras, não basta aplicar o método; é preciso

alimentá-lo com métricas consistentes e acompanhá-las de forma disciplinada. Cada indicador, nesse contexto, assume um papel estratégico dentro do método, contribuindo para decisões mais assertivas e para a estabilidade operacional do processo produtivo.

Nas fases Definir e Medir, indicadores como o FPY e o MTBF oferecem uma visão objetiva da performance inicial do processo. É aí que começam a aparecer, por assim dizer, os primeiros sinais de gargalos, variabilidade e oportunidades de melhoria. O FPY evidencia o percentual de produtos que seguem adiante sem retrabalho, refletindo diretamente a capacidade do processo. Já o MTBF revela a confiabilidade dos equipamentos e sua influência na continuidade operacional, afinal, máquina parada impacta toda a cadeia. Esses indicadores fornecem a base quantitativa necessária para delimitar o problema e dimensionar sua magnitude, conforme defendem Montgomery (2016) e George (2002). Sem essa etapa bem estruturada, corre-se o risco de atacar sintomas e não as causas.

Avançando para as fases de Analisar e Melhorar, entram em cena métricas como o DPMO e o acompanhamento dos custos relacionados à qualidade, como o CONC. Aqui, a análise ganha profundidade. O DPMO, ao quantificar a incidência de defeitos em escala detalhada, amplia a capacidade de identificar padrões e priorizar falhas críticas. Já o CONC traduz, em termos financeiros, o impacto dessas falhas e quando o problema “aparece no custo”, ele ganha outra dimensão dentro da organização. Esses instrumentos viabilizam a aplicação estruturada de ferramentas estatísticas e de qualidade, conforme recomendam Pande et al. (2001), garantindo que as melhorias propostas sejam robustas e sustentáveis, e não apenas soluções pontuais.

Por fim, na etapa de Controlar, o monitoramento sistemático dos indicadores assegura que as melhorias implementadas permaneçam sob controle estatístico e dentro dos limites estabelecidos. É nesse momento que se evita o famoso “efeito sanfona”, isto é, quando o processo melhora por um período e depois retorna ao patamar anterior. A manutenção dos níveis de FPY, DPMO, MTBF e dos custos da qualidade reforça a disciplina operacional e consolida o aprendizado organizacional. Em síntese, controlar não é apenas acompanhar, mas garantir consistência ao longo do tempo.

Dessa forma, a gestão integrada de custos e qualidade, aliada ao uso

sistemático de indicadores ao longo do DMAIC, potencializa a eficiência produtiva e fortalece a cultura de melhoria contínua. Quando esse alinhamento ocorre de maneira estruturada, reduzem-se desperdícios, retrabalhos e perdas financeiras decorrentes de falhas. Assim, o método deixa de ser apenas uma sequência de etapas e passa a funcionar como um sistema coerente de gestão, em conformidade com os fundamentos do *Six Sigma* (PANDE et al. 2001; MONTGOMERY, 2016).

3.8. Governança, Time Multifuncional e Métricas Financeiras

A metodologia do *Lean Six Sigma*, não depende apenas dos ciclos DMAIC ou das ferramentas estatísticas, mas também da estrutura de governança, da relação entre as áreas e do controle das métricas financeiras. Com estes tópicos, temos os três fatores críticos de sucesso da sua implementação, formando a base para transformar melhorias operacionais em resultados financeiros sustentáveis e mensuráveis.

3.8.1. Governança

A governança dos projetos de melhoria contínua desempenha, sem dúvida, um papel central na consolidação de uma cultura orientada a resultados e no alinhamento entre estratégia corporativa e execução operacional. Em um ambiente industrial complexo, como o da produção de máquinas de lavar roupas, não dá para conduzir iniciativas de qualidade e redução de custos “no improviso”. É justamente a governança que estabelece a estrutura necessária para que essas iniciativas sigam uma lógica integrada, transparente e sustentada por critérios técnicos bem definidos.

A literatura mostra que estruturas de governança bem delineadas contribuem diretamente para o desempenho operacional e para a sustentabilidade dos métodos de melhoria contínua. De acordo Antony (2014), modelos robustos de governança ampliam o controle sobre o ciclo de vida dos projetos, mitigam riscos e fortalecem a aderência às metas organizacionais. Slack et al. (2023), por sua vez, destaca que maior maturidade em governança está associada ao aumento da taxa de sucesso dos projetos e à redução de falhas decorrentes de ruídos na comunicação ou, ainda, da famosa “zona cinzenta” de responsabilidades. Em outras palavras, quando cada

um sabe exatamente o seu papel, o processo flui melhor.

A estrutura de governança é responsável por definir papéis, responsabilidades, fluxos decisórios, critérios de priorização e mecanismos de acompanhamento. Ou seja, é ela que organiza o “como”, o “quem” e o “quando” das iniciativas estratégicas. Salacinski et al. (2023) apontam que organizações com governança estruturada apresentam maior maturidade em gestão de projetos, reduzindo riscos de retrabalho, desalinhamento e desperdício de recursos, que são problemas que custam caro. Ademais, George (2002) reforça que projetos *Lean Six Sigma* alcançam resultados significativamente superiores quando contam com comitês formais, patrocinadores executivos atuantes e rotinas padronizadas de acompanhamento. Não se trata apenas de metodologia, mas de disciplina organizacional.

No contexto da empresa estudada, a governança se materializa por meio de comitês executivos, rotinas formais de monitoramento e estruturas consolidadas de tomada de decisão. Destaca-se, nesse cenário, o Grupo de Gestão de Projetos Estratégicos (GGPE), realizado semanalmente e estruturado como um fórum de avaliação crítica do portfólio de iniciativas. Nessas reuniões, analisam-se indicadores-chave, status dos projetos, riscos, necessidades de recursos e aderência às metas financeiras e de qualidade. Essa cadência regular e estratégica permite identificar desvios com rapidez e promover ações corretivas antes que pequenos problemas se transformem em entraves maiores.

Segundo Slack et al. (2023) demonstra que o alinhamento entre portfólio de projetos e estratégia corporativa é um dos fatores que mais influenciam o desempenho organizacional. Dessa forma, pesquisas evidenciam que a governança baseada em divisões claras de responsabilidade aumenta a sinergia entre equipes e agiliza a tomada de decisão (ALKARAAN et al., 2023). Assim, não se trata apenas de acompanhar projetos isoladamente, mas de garantir que todos estejam “remando na mesma direção”.

Além das reuniões do GGPE, a governança contempla revisões periódicas de portfólio, nas quais se avaliam o desempenho agregado dos projetos, sua viabilidade e seu alinhamento às metas anuais. Essas revisões funcionam como um filtro estratégico: iniciativas menos aderentes podem ser redirecionadas ou até descontinuadas, assegurando que recursos sejam aplicados onde há maior

potencial de impacto. Sendo assim, revisões estruturadas são essenciais para evitar dispersão de esforços e maximizar a geração de valor, ou seja, priorizar é tão importante quanto executar.

Outro elemento essencial da governança é a definição clara dos papéis de liderança, incluindo líderes de projeto e times multifuncionais. Os líderes são responsáveis pela condução metodológica, pela análise de dados e pela implementação das ações definidas no DMAIC. Já os times multifuncionais agregam conhecimento técnico, validam informações e executam as melhorias propostas. Quando esses papéis estão bem definidos, e são efetivamente respeitados, a comunicação torna-se mais objetiva, a coordenação entre áreas se fortalece e o processo decisório ganha previsibilidade. As equipes multifuncionais são determinantes para o sucesso de projetos *Lean Six Sigma*, especialmente em ambientes industriais complexos e a participação interfuncional é um dos pilares da cultura de melhoria contínua. Afinal, melhoria não é responsabilidade de uma área isolada, mas um compromisso coletivo.

Dessa forma, a governança não se limita ao acompanhamento de cronogramas ou indicadores; ela assegura coerência estratégica, transparência na comunicação e rigor metodológico. Organizações que negligenciam essa estrutura tendem a apresentar projetos desconectados, com resultados fragmentados e impacto reduzido no desempenho global (SALACINSKI et al., 2023). Em contrapartida, empresas com governança madura alcançam maior sinergia entre áreas, reduzem variabilidade, ampliam o retorno financeiro das iniciativas e consolidam um ambiente mais propício à melhoria contínua e à inovação. Em última análise, é a governança que transforma boas ideias em resultados concretos e sustentáveis.

3.8.2. Times Multifuncionais

Os times multifuncionais desempenham, de fato, um papel decisivo para o êxito das iniciativas de *Lean Six Sigma*, sobretudo em ambientes industriais marcados por alta complexidade operacional. Em contextos como esse, não dá para enxergar o processo “por partes”; é preciso uma visão do todo. A participação de profissionais de diferentes áreas, como de Engenharia, Qualidade, Manufatura,

Suprimentos, Planejamento e Service, amplia a compreensão sistêmica e favorece uma tomada de decisão mais consistente e baseada em dados. Além disso, reduz vieses individuais e fortalece a análise crítica, já que diferentes perspectivas acabam se complementando. Slack et al. (2023) demonstram que equipes multifuncionais apresentam maior capacidade de inovação e melhor desempenho em projetos complexos. Em outras palavras, quando as áreas “puxam juntas”, o resultado tende a ser mais robusto.

A colaboração entre áreas distintas permite uma abordagem mais estruturada para a identificação e o tratamento de causas raízes. Afinal, muitos problemas industriais não são simples, pelo contrário, envolvem simultaneamente fatores técnicos, logísticos, organizacionais e econômicos. Nesse cenário, equipes multifuncionais aumentam a precisão do diagnóstico, enriquecem as discussões e tornam as soluções mais assertivas. Como destaca Furterer (2009), a diversidade de competências é um elemento-chave para a maturidade do processo de melhoria contínua.

Para além do aspecto técnico, há também um impacto significativo no comprometimento organizacional. Quando diferentes áreas participam ativamente dos projetos, passam a compreender, com mais clareza, como as melhorias afetam seus próprios indicadores, metas e rotinas. Esse entendimento reduz resistências internas, melhora o fluxo de comunicação e cria um ambiente mais favorável à mudança. Slack et al. (2023) confirma que equipes multidisciplinares fortalecem o senso de pertencimento e ampliam a aceitação das práticas de melhoria contínua. Não por acaso, organizações que adotam essa estrutura observam maior engajamento, cooperação e responsabilidade compartilhada.

Outro benefício relevante diz respeito à integração entre áreas técnicas e administrativas. O *Lean Six Sigma* exige análises financeiras, mapeamento detalhado de processos, simulações estatísticas e avaliações de impacto, tarefas que dificilmente se concentram em um único departamento. Assim, a atuação integrada potencializa a qualidade das entregas e amplia a capacidade de enfrentar problemas complexos. Projetos conduzidos por equipes multidisciplinares apresentam maior capacidade de identificar sinergias entre processos e maior robustez nos resultados. Em síntese, quanto mais integrada a equipe, maior a consistência das soluções implementadas.

Segundo Furterer (2009), empresas que estruturam equipes interdisciplinares de forma adequada podem alcançar até 30% mais sustentabilidade nos ganhos provenientes de projetos *Lean Six Sigma*, quando comparadas àquelas que atuam com equipes isoladas ou pouco integradas. Isso ocorre porque a diversidade funcional promove maior solidez na implementação, amplia a capacidade de prevenção de desvios e assegura continuidade aos resultados ao longo do tempo. Não se trata apenas de resolver o problema imediato, mas de garantir que a melhoria “fique de pé”.

Portanto, a formação de times multifuncionais não apenas amplia a efetividade das análises e das soluções propostas, como também consolida uma cultura organizacional orientada à colaboração, ao aprendizado contínuo e à tomada de decisão baseada em evidências. Em última análise, são esses elementos: colaboração, disciplina e integração, que sustentam a perenidade da melhoria contínua e fortalecem a competitividade organizacional no longo prazo.

3.8.3. Métricas Financeiras e Operacionais

Para que os ganhos provenientes do *Lean Six Sigma* sejam, de fato, consistentes, e não apenas aparentes, é indispensável trabalhar com métricas integradas capazes de conectar a melhoria técnica ao desempenho financeiro. Afinal, melhorar processo é importante, mas melhorar resultado financeiro é o que sustenta o negócio. Indicadores como redução de custos de retrabalho, aumento de FPY, redução de DPMO e ganhos de produtividade precisam, necessariamente, ser convertidos em valores monetários e refletidos no *Profit and Loss Statement* (P&L). É aí que a melhoria deixa de ser apenas operacional e passa a ter impacto concreto no resultado da empresa.

Quando essa conexão não é bem estabelecida, podem surgir os chamados “ganhos ilusórios”, que são situações em que o projeto apresenta excelente desempenho técnico, mas não gera retorno financeiro mensurável. Em outras palavras, o processo melhora no papel, mas o caixa não sente diferença. Para evitar esse tipo de distorção, recomenda-se que as organizações mantenham rotinas estruturadas de fechamento financeiro mensal, fóruns de BOM, revisões de custo-padrão e reuniões semanais de acompanhamento de savings. Essas práticas

funcionam como mecanismos de validação, garantindo que os resultados sejam corretamente mensurados, aprovados e reportados. Sem esse cuidado, corre-se o risco de celebrar números que não se sustentam na prática.

De acordo com Pande et al. (2001), a maturidade do sistema *Six Sigma* é alcançada quando a organização consegue integrar indicadores operacionais, financeiros e estratégicos em um único modelo de decisão. Isso fortalece a confiabilidade dos dados, reduz ambiguidades e assegura que as melhorias implementadas tenham sustentabilidade no longo prazo. Em síntese, não basta medir bem; é preciso medir de forma alinhada à estratégia.

Nessa mesma linha, Shah e Ward (2007) demonstram que organizações que integram métricas financeiras diretamente aos indicadores *Lean* apresentam até 40% mais confiabilidade na validação dos resultados dos projetos. Hoerl e Snee (2010) reforçam que a quantificação adequada dos benefícios não é apenas desejável, mas essencial para evitar decisões apoiadas exclusivamente em métricas operacionais que, embora relevantes, nem sempre capturam o impacto econômico em sua totalidade. Em outras palavras, olhar apenas para o desempenho técnico pode dar a impressão de avanço, quando, na prática, o reflexo financeiro ainda não acompanha esse movimento. Ao converter melhorias em valores monetários, cria-se uma leitura mais clara e integrada dos resultados, o que, de certa forma, ilumina caminhos antes pouco evidentes, favorece a priorização de recursos e reduz desalinhamentos entre áreas técnicas e de controladoria.

Assim, ao integrar indicadores técnicos e financeiros de maneira estruturada, a organização passa a fortalecer sua governança e a ampliar a credibilidade de seus projetos. É como se, aos poucos, os resultados deixassem de ser apenas números dispersos e passassem a compor uma narrativa mais consistente, na qual cada melhoria encontra seu reflexo no desempenho global do negócio. Com isso, os avanços deixam de ser pontuais e assumem um caráter mais duradouro, sustentando decisões mais seguras e alinhadas.

Em última análise, é justamente essa conexão entre operação e resultado financeiro que confere sentido mais amplo às iniciativas de melhoria. Quando bem estabelecida, essa relação transforma esforços internos em resultados concretos, consolidando uma vantagem competitiva que não se apoia apenas na eficiência momentânea, mas na capacidade contínua de gerar valor.

3.9. MANUFATURA: Estudos e Casos Aplicáveis

3.9.1. Ensaios controlados e Estudos de Campo

Para validar, de forma consistente, a efetividade das melhorias propostas por meio da metodologia DMAIC na manufatura, torna-se necessário recorrer a ensaios controlados e estudos de campo. Não se trata apenas de observar mudanças aparentes, mas de compreender, com maior profundidade, se os resultados obtidos refletem, de fato, intervenções bem-sucedidas. Por meio desses estudos, compara-se o desempenho dos processos antes e depois das ações implementadas, permitindo distinguir aquilo que representa uma melhoria real daquilo que poderia ser apenas fruto de variações naturais do sistema, como destacam Pyzdek e Keller (2014). Em certa medida, é como separar sinais consistentes de ruídos passageiros, garantindo que as conclusões se apoiem em evidências sólidas.

Nesse contexto, estudos disponíveis na plataforma ScienceDirect indicam que a aplicação estruturada do DMAIC em ambientes industriais tende a produzir reduções expressivas nas taxas de defeitos, além de quedas relevantes em indicadores como DPMO e ganhos diretos por unidade produzida. Tais resultados, de maneira bastante coerente, reforçam os fundamentos do *Six Sigma*, cuja essência está no uso disciplinado de medições e análises quantitativas para orientar a melhoria dos processos. Aos poucos, o que antes poderia parecer apenas uma intenção de melhoria se transforma em resultados mensuráveis, quase como se o processo passasse a evidenciar, de forma mais clara, sua própria evolução.

Observa-se, ainda, que os melhores resultados costumam surgir quando o DMAIC é aplicado em conjunto com ferramentas de apoio analítico. Entre elas, destaca-se o Minitab, amplamente utilizado em análises como regressão, controle de variabilidade e testes de hipóteses, conforme aponta Montgomery (2016). Com o suporte dessas ferramentas, torna-se possível quantificar com maior precisão as melhorias alcançadas, identificar relações entre variáveis críticas e, sobretudo, sustentar decisões com base em dados consistentes. Não se trata apenas de medir por medir, mas de compreender, de fato, o que está por trás dos números. Aos poucos, a organização deixa de apenas acompanhar resultados e passa a enxergar,

com mais nitidez, os caminhos que conduzem à melhoria, como se cada análise revelasse, camada por camada, a lógica que orienta o desempenho dos processos.

Além disso, o apoio da governança corporativa também se mostra um elemento decisivo para o sucesso desses estudos. Isso porque a governança contribui para garantir a disponibilização de recursos, a priorização adequada dos projetos e o acompanhamento contínuo das etapas do método, conforme destaca George (2002). Em outras palavras, cria-se um ambiente mais organizado e propício, no qual as iniciativas não se perdem ao longo do percurso. É como se houvesse uma estrutura que sustenta e direciona os esforços, permitindo que os resultados obtidos sejam devidamente registrados, analisados e, principalmente, convertidos em ganhos operacionais e financeiros.

Assim, pode-se dizer que os ensaios controlados e os estudos de campo atuam como um elo entre a base estatística do *Six Sigma* e sua aplicação prática na indústria. Funcionam, de certo modo, como um caminho que conecta teoria e prática, permitindo que o conhecimento seja testado, ajustado e consolidado ao longo do tempo. Ao estimular a experimentação estruturada e o aprendizado contínuo, essas práticas contribuem para fortalecer uma cultura organizacional orientada à melhoria sustentada dos processos, na qual cada avanço, ainda que gradual, passa a compor um movimento mais amplo de evolução.

3.9.2. Aplicações na indústria de eletrodomésticos e exemplos corporativos

O setor industrial de eletrodomésticos tem, nos últimos anos, se destacado pela adoção cada vez mais sistemática das metodologias *Lean Six Sigma* como verdadeiros pilares para aumentar produtividade, qualidade e competitividade. Várias multinacionais aparecem com frequência tanto na literatura acadêmica quanto em relatórios corporativos como exemplos de sucesso na implementação dessas práticas em larga escala e, entre essas multinacionais encontramos a Whirlpool Corporation.

De modo geral, a Whirlpool vem buscando combinar programas contínuos de melhoria de processos com treinamentos bem estruturados, padronização operacional e investimentos constantes em automação e digitalização. Na prática, essa combinação acaba criando um ambiente organizacional bastante favorável à

melhoria contínua. De acordo com estudos de caso e publicações corporativas, essa integração entre tecnologia industrial e uma cultura organizacional voltada à melhoria tem gerado ganhos expressivos de produtividade, economias financeiras relevantes e reduções consistentes nos índices de defeitos (GEORGE, 2002). Nessa mesma linha, Hoerl e Snee (2010) destacam que empresas que adotam estruturas de melhoria contínua orientadas por dados tendem a apresentar desempenho superior em indicadores de qualidade e custos operacionais.

Agora, quando a gente olha especificamente para o contexto das linhas de produção de máquinas de lavar roupas, alguns resultados chamam bastante atenção. Reduções expressivas no índice de DPMO, aumentos no FPY e melhorias no tempo médio entre falhas dos equipamentos têm sido, com certa frequência, associados à aplicação direta de projetos *Six Sigma* em ambientes produtivos, conforme evidenciam os estudos de Gijo e Scaria (2014). Em termos práticos, esses resultados acabam traduzindo, de maneira bastante concreta, a efetividade do DMAIC como uma metodologia estruturada para análise e solução de problemas em sistemas de manufatura de alto volume. Afinal, nesses contextos, a variabilidade do processo não apenas exige atenção constante, como também sinaliza, ainda que de forma sutil, a necessidade de controle rigoroso da qualidade.

Por outro lado, embora existam diversos relatos corporativos positivos sobre a aplicação do *Six Sigma*, muitos desses materiais apresentam um caráter mais descritivo e, não raro, limitado no que diz respeito à divulgação de dados quantitativos. Isso, de certa forma, cria uma espécie de zona pouco transparente, na qual os resultados são mencionados, mas nem sempre plenamente demonstrados. Como consequência, a replicabilidade acadêmica se torna mais restrita, dificultando comparações mais consistentes entre diferentes empresas, setores ou até mesmo contextos produtivos distintos.

Diante desse cenário, torna-se ainda mais relevante o desenvolvimento de estudos científicos conduzidos com maior rigor metodológico, especialmente no setor de eletrodomésticos (MUTHUSWAMY e DILIP, 2024). Trabalhos dessa natureza contribuem para ampliar a compreensão sobre os fatores que, de fato, influenciam o sucesso da implementação do *Six Sigma*, permitindo análises mais sólidas e aprofundadas sobre sua sustentabilidade ao longo do tempo. É como se, aos poucos, o campo de estudo deixasse de se apoiar apenas em percepções e

passasse a construir um corpo de conhecimento mais consistente e verificável.

Assim, ao observar os resultados reportados por diferentes empresas dentro de um mesmo setor industrial, percebe-se que a combinação entre *Lean*, *Six Sigma* e os princípios da Indústria 4.0 vem se consolidando como uma estratégia cada vez mais robusta. Não se trata apenas de uma tendência passageira, mas de um movimento que, aos poucos, ganha consistência e direção. No fim das contas, essa integração não apenas eleva a eficiência operacional e reduz custos produtivos, como também fortalece a competitividade global da indústria de eletrodomésticos. É como se diferentes frentes de melhoria, antes atuando de forma mais isolada, passassem a convergir em um mesmo fluxo, impulsionando o desempenho de maneira contínua e cada vez mais alinhada.

3.10. IMPACTO SOBRE CUSTOS: Mecanismos e Evidências Quantitativas

A aplicação de forma consciente da metodologia DMAIC e da *Lean Six Sigma* tem resultado em impactos significativos na redução de custos unitários e operacionais nos processos industriais. Esses ganhos são devido a combinação de mecanismos sistemáticos de melhoria com análise de dados, padronização, revisão dos processos e a integração entre a área técnica com a financeira.

3.10.1. Principais Mecanismos de Redução de Custos

Dentre os principais mecanismos que contribuem para a geração de ganhos operacionais e financeiros nesse contexto, destacam-se alguns pontos centrais, e bastante práticos no dia a dia industrial.

1. Otimização e Redesign de Componentes: Em primeiro lugar, a revisão do design da lavadora e de seus componentes, junto com a simplificação das etapas de montagem, pode reduzir o número de peças e operações necessárias. Na prática, isso acaba impactando diretamente a BOM, ou seja, o custo direto dos materiais do produto. A ideia, no fim das contas, é cortar excessos e eliminar complexidades que, convenhamos, nem sempre agregam valor real, além de melhorar a montabilidade e facilitar a manutenção. Como resultado, surgem ganhos importantes em confiabilidade e durabilidade. Nesse sentido, Boothroyd,

Dewhurst e Knight (2010) mostram que produtos menos complexos tendem a ter custos menores e maior confiabilidade. E mais: análises como o DFMEA podem reduzir de 20 a 60% o número de peças e até cerca de 30% o tempo de montagem. Já Liker (2005) reforça que pensar nisso desde o início ajuda a eliminar desperdícios antes mesmo deles aparecerem, o que, no fim das contas, reduz custos ao longo de todo o ciclo de vida.

2. Gestão Estratégica de Fornecedores e Sourcing: Outro ponto é a gestão estratégica de fornecedores. A renegociação de contratos, combinada com novas estratégias de sourcing, pode gerar reduções significativas nos custos de compra e logística. Isso impacta diretamente o chamado TCO e fortalece a competitividade da cadeia de suprimentos, principalmente quando há alinhamento entre suprimentos e engenharia. Não por acaso, Slack et al. (2023) destacam que parcerias colaborativas ajudam a reduzir lead times, fomentar inovação e diminuir custos. Em outras palavras, quando todo mundo puxa para o mesmo lado, os resultados aparecem.

3. Redução de Retrabalho, Refugo e Scrap: Além disso está a redução de retrabalho, refugo e falhas recorrentes. Atacar o problema na raiz costuma trazer ganhos rápidos e expressivos. Ferramentas como os 5 Porquês, o diagrama de Ishikawa e o CEP são amplamente utilizadas justamente para isso. Estudo de Gijo e Scaria (2014) mostra que projetos *Six Sigma* conseguem reduzir significativamente o CONC e aumentar o FPY. Já Montgomery (2019) aponta que elevar o nível sigma traz retornos financeiros consistentes. E, para fechar o raciocínio, Juran (1992) lembra que os custos de falhas internas podem chegar a até 40% dos custos da qualidade quando não são bem controlados, ou seja, não é pouca coisa.

4. Otimização do Fluxo Produtivo e do *Takt Time*: Outro aspecto importante diz respeito ao fluxo produtivo. O *Takt Time*, que basicamente dita o ritmo da produção conforme a demanda, funciona como um verdadeiro compasso da operação. Quando bem ajustado, ajuda a equilibrar a linha, reduzir gargalos e aproveitar melhor os recursos disponíveis. Segundo Slack et al. (2023), melhorias no fluxo reduzem desperdícios como espera, movimentação desnecessária e excesso de processamento, impactando diretamente o custo de conversão. De quebra, isso costuma melhorar o OEE, já que disponibilidade, desempenho e qualidade passam a trabalhar mais alinhados. Nakajima (1988) mostra que melhorias nesses fatores

podem elevar a eficiência global entre 15% e 30%, o que, convenhamos, é bastante relevante.

5. Melhoria na visibilidade e contabilização de resultados: Por fim, está a visibilidade dos resultados. Afinal, não adianta melhorar o processo se isso não aparece nos números. A implementação de sistemas integrados de medição e controle financeiro ajuda a garantir que os ganhos do *Lean Six Sigma* sejam refletidos, de fato, nos resultados da empresa. Em outras palavras, é preciso fechar o ciclo: melhorar, medir e comprovar. Para isso, torna-se essencial garantir transparência na mensuração das economias e sua rastreabilidade até o P&L. Só assim, no fim das contas, a melhoria deixa de ser apenas operacional e passa a gerar impacto real no negócio.

3.10.2. Evidências Quantitativas e Resultados Observados

Diante de estudos e relatórios disponíveis na literatura, observa-se, de forma bastante consistente que, quando os princípios do *Lean Six Sigma* são aplicados de maneira estruturada, com disciplina metodológica, apoio da alta liderança e uso adequado de ferramentas analíticas, tornam-se possíveis reduções bem expressivas de custos por *Stock Keeping Unit* (SKU) (PRASOJO et. al, 2025). Em outras palavras, quando a metodologia sai do papel e passa a fazer parte da rotina, os resultados começam, de fato, a aparecer nos indicadores operacionais e financeiros. Segundo Syamil et al. (2023), empresas do setor de manufatura que utilizam o DMAIC aliado ao *Lean Six Sigma* chegam a reportar economias anuais que podem atingir centenas de milhares de dólares por portfólio de produtos, claro que variando conforme a complexidade e o nível de maturidade da organização.

Nessa mesma linha, Shah e Ward (2007) identificaram reduções relevantes na variabilidade dos processos e nos custos operacionais após a implementação de programas estruturados de *Lean Six Sigma*. Já Hoerl e Snee (2010) chamam atenção para um ponto importante: ganhos financeiros consistentes tendem a surgir quando o controle estatístico passa a fazer parte do planejamento estratégico, ou seja, quando as decisões deixam de ser “*no feeling*” e passam a ser guiadas por dados concretos. Complementando essa visão, Antony (2011) e Gijo e Scaria (2014) também evidenciam melhorias significativas em indicadores como o FPY, redução de

defeitos e impactos diretos no custo de conversão.

Agora, vale destacar que os benefícios do *Lean Six Sigma* não se limitam apenas às economias financeiras diretas. Na prática, a adoção dessa abordagem costuma gerar uma série de ganhos indiretos que, embora nem sempre apareçam de imediato nos números, acabam fortalecendo o desempenho organizacional ao longo do tempo. Entre eles, destacam-se:

- Melhoria na confiabilidade dos equipamentos e dos processos produtivos;
- Fortalecimento de uma cultura organizacional voltada à melhoria contínua;
- Aumento da produtividade e melhor aproveitamento dos recursos disponíveis;
- Redução de estoques intermediários e, conseqüentemente, diminuição dos lead times.

Dessa forma, fica claro que a redução de custos baseada nos princípios do *Six Sigma* vai muito além de simplesmente cortar desperdícios aqui e ali. No fundo, trata-se de uma transformação bem mais ampla, quase estrutural mesmo, que vai conectando diferentes áreas da organização, do estratégico ao operacional, em torno de um mesmo objetivo. Em outras palavras, não é só ajustar pontualmente, mas alinhar o todo: buscar níveis cada vez mais elevados de excelência operacional e, claro, sustentar resultados consistentes ao longo do tempo, daqueles que realmente se mantêm.

3.11. LACUNAS, RISCOS E DESAFIOS PARA REPLICAÇÃO DA METODOLOGIA

É notório que a aplicação dos métodos estudados na indústria de máquinas de lavar roupas traz uma série de benefícios. No entanto, a própria literatura mostra que existem limitações e riscos que, de uma forma ou de outra, precisam ser considerados ao longo do estudo.

Entre essas limitações, a cultura organizacional aparece como um ponto-chave. Muitas vezes, há uma certa resistência às mudanças, o que diga-se de passagem, é até esperado, exigindo um engajamento forte da alta gestão pra que as iniciativas realmente avancem. Além disso, a capacitação das equipes, com formações como *Green Belt* e *Black Belt*, não é só um diferencial, mas praticamente uma necessidade para garantir que as ferramentas sejam bem aplicadas. Sem isso,

o que se vê, não raro, é a combinação de resistência interna, falta de patrocínio executivo e ausência de habilidades técnicas, um cenário que, no fim das contas, acaba reduzindo a taxa de sucesso dos projetos.

Outro ponto que merece atenção é a qualidade da coleta de dados. Afinal, não tem muito como fugir: análises estatísticas só são confiáveis quando os dados também são. Ou seja, precisam ser precisos, consistentes e coletados de forma estruturada. Esse desafio pode ser amenizado com investimentos em digitalização e sensorização da linha de produção, permitindo monitoramento em tempo real e maior rastreabilidade dos defeitos. Ainda assim, se não houver sistemas confiáveis de BOM e ERP, as economias projetadas acabam ficando mais no papel do que na prática. Como apontam Slack et al. (2023), erros de cadastro e falta de atualização são fontes relevantes de incerteza.

Seguindo nessa linha, ao buscar reduzir custos sem impactar a percepção de valor do produto, é fundamental manter um bom alinhamento com o time de marketing. Caso contrário, corre-se o risco de desbalancear o portfólio da empresa. E aqui entra um ponto importante: os famosos “*trade-offs*”. Em bom português, são aquelas decisões em que, inevitavelmente, um lado ganha e outro cede um pouco, seja entre custo, qualidade ou funcionalidades (“*feature set*”). O desafio, claro, é encontrar esse equilíbrio sem comprometer o resultado final.

Outro aspecto crítico é a integração com fornecedores. Afinal, muitos defeitos têm origem em componentes externos, o que exige uma atuação conjunta com os parceiros para garantir padrões de qualidade desde a matéria-prima até o produto final. Além disso, não dá pra ignorar que o investimento inicial, seja em treinamento, equipamentos ou tempo de engenharia, pode ser significativo. Por isso, calcular bem o *Return on Investment* (ROI) e planejar o “*payback*” dos projetos não é só recomendável, é essencial para evitar surpresas no meio do caminho.

Por fim, vale lembrar que os “*savings*” precisam ser bem medidos e reconhecidos dentro de processos contábeis claros. Sem isso, erros de fechamento podem acontecer com certa facilidade. Não à toa, Antony (2014) destaca que muitos projetos falham justamente por não conseguirem conectar de forma adequada a engenharia com a área financeira, o que acaba gerando inconsistências nos resultados reportados.

3.12. SÍNTESE CRÍTICA E LACUNAS PARA A PESQUISA

O *Lean Six Sigma* é uma combinação do *Six Sigma* (DMAIC) com as práticas do *Lean Manufacturing*, constituindo uma estrutura comprovada para reduzir custos, melhorar a qualidade, principalmente na manufatura, e contribuir para a eliminação dos desperdícios. No setor industrial de máquinas de lavar roupas, essa abordagem tem sido cada vez mais eficiente no controle da variabilidade e na otimização de processos produtivos, conforme estudos aplicados em manufatura de alto volume (Antony, 2011; Syamil et al., 2023).

No entanto, apesar de apresentar resultados positivos, existem lacunas que devem ser analisadas e que merecem atenção para que a metodologia do *Lean Six Sigma* possa se consolidar como instrumento estratégico e sistemático na indústria. Dentre essas lacunas, temos:

A. Relação entre as intervenções DMAIC e desempenho de mercado:

A maioria dos estudos são baseados em métricas operacionais e de qualidade, como por exemplo redução de defeitos, DPMO e FPY, mas além dessas, há uma carência de trabalhos que analisam como essas melhorias são traduzidas para indicadores de mercado, como “*market share*” (participação de mercado) ou níveis de satisfação de clientes. Essa lacuna limita a compreensão sobre o impacto estratégico de longo prazo das iniciativas do *Lean Six Sigma*, conforme apontado no estudo de Hoerl e Snee (2010).

B. Mensuração dos reflexos financeiros por meio da BOM/ERP e P&L: Faltam estudos que detalham como corrigir inconsistências entre a BOM e os sistemas ERP e, também, como validar que as economias técnicas geradas, como redução de tempo, de retrabalhos e de peças, são efetivamente reconhecidas no P&L da empresa. Sendo assim, a ausência dessa rastreabilidade pode gerar os “ganhos ilusórios”, onde as melhorias aparecem apenas no nível técnico mas não chegam ao nível contábil.

C. A integração do custeio de BOM com a Indústria 4.0 e a quantificação de digitalização: Com as tecnologias da Indústria 4.0, como big data e automação inteligente, é possível acelerar o ciclo DMAIC e melhorar a visibilidade dos *savings* (BUER, STRANDHAGEN E CHAN, 2018). No entanto, existem poucos estudos capazes de quantificar o valor da digitalização em termos de economia, ou

então, que façam a ponte interligando o digital com BOM - *costing*. Por exemplo, um estudo de Afifa e Damayanti (2023), observou que a implementação do *Six Sigma* em uma produção de máquinas de lavar, no caso “*Twin Tub Washing Machine*”, reduziu o DPMO de cerca de 251,69 para 152,65 ao utilizar o ciclo DMAIC. Outro exemplo, também realizado em lavadoras, no Peru, relata as economias e melhorias dos indicadores após a implementação do LSS, mas reporta a falta de dados financeiros detalhados.

D. A escassez de estudos de campo aplicados em linhas reais com documentação de *savings* contábeis: Há pesquisas que são focadas em indicadores de produção ou qualidade, mas quase não há publicações que deixe registrado o processo contábil de reconhecimento de *savings*, com relatórios claros de antes e depois, com a reconciliação com contabilidade e com os impactos financeiros diretos, conforme George (2002). Essa falta de documentação, dificulta a replicabilidade e a generalização dos achados.

Dessa forma, para fortalecer essas lacunas, é importante que os trabalhos futuros foquem nos seguintes estudos para que se tenha um avanço no campo:

- Trabalhos aplicados em ambientes industriais reais, com a coleta de dados operacionais, financeiros e de mercado;
- Documentação detalhada do processo contábil de *savings*, integrando BOM, ERP e P&L;
- Estudos que quantifiquem os benefícios das tecnologias digitais da Indústria 4.0 na implementação do LSS;
- Análises longitudinais para avaliar os impactos no *market share*, satisfação do cliente e na vantagem competitiva.

Portanto, ao ter essas lacunas completas, a literatura será capaz de nos fornecer uma base mais consistente e estratégica para a aplicação do *Lean Six Sigma* como ferramenta de excelência operacional e competitiva.

3.13. ESTUDOS DE COV E DOE NA INDÚSTRIA DE MÁQUINAS DE LAVAR ROUPAS

Ao analisar ferramentas como o CEP e o FMEA, amplamente utilizadas para identificar e prevenir falhas, a literatura evidencia, de forma bastante clara, a

necessidade de métodos mais refinados para análise quantitativa. Não basta, portanto, apenas detectar desvios ou registrar ocorrências; é preciso compreender, com maior profundidade, as origens dessas variações e, sobretudo, traduzir esse entendimento em decisões mais assertivas. De certa maneira, é como se os processos, ao serem observados com mais atenção, passassem a revelar padrões antes pouco evidentes, exigindo abordagens capazes de captar essas nuances e direcionar melhorias de forma consistente e sustentável.

Nesse contexto, estudos de Correlação e Variação, juntamente com o *Design of Experiments* (DOE), ganham destaque ao se posicionarem como ferramentas fundamentais nas fases de Analisar e Melhorar do ciclo DMAIC. Essas abordagens permitem ir além de uma visão superficial, aprofundando a relação entre variáveis e evidenciando, com maior clareza, quais fatores realmente influenciam o desempenho do processo. Aos poucos, o que antes parecia disperso começa a se organizar, como se os dados, então fragmentados, passassem a compor um quadro mais coerente, orientando decisões com maior segurança e direcionamento.

Para compreender melhor as relações de causa e efeito entre as variáveis de processo e as características críticas de qualidade (*Critical to Quality* - CTQs), esses estudos são fundamentais, permitindo que se tenha parâmetros otimizados, custos reduzidos e desempenho dos produtos elevados. Dentro de setores industriais mais complexos, como o caso das linhas de montagens, essas técnicas são necessárias para o fornecimento da base estatística para que sejam tomadas decisões assertivas e sustentáveis por dados.

3.13.1. Estudos de Correlação e Variação (COV)

Estudos de Correlação e Variação (COV), tem como objetivo mapear e compreender qual a variabilidade existente no processo produtivo, identificando quais são as variáveis de entrada que resultam em um maior impacto no resultado final do processo. Através de análises das correlações e regressões, pode-se identificar qual é a intensidade e a direção dos relacionamentos entre as variáveis do processo, determinando também todos os possíveis pontos críticos que podem causar instabilidade. Conforme ressaltado por Montgomery (2016), essas análises são fundamentais para o controle estatístico moderno, pois permitem uma avaliação

estruturada da variabilidade e uma priorização eficaz das causas mais relevantes.

No setor industrial de máquinas de lavar roupas, esse tipo de estudo é aplicado frequentemente para rastrear os parâmetros como alinhamento do cesto e nível, torque de fixação do motor, nível de ruído, pressão de injeção e temperatura de soldagem. Um estudo realizado na Whirlpool, identificou que pequenas variações na pressão de solda e no torque de parafusos do suporte do motor, estavam correlacionados com o aumento de vibração e ruído no produto, elevando as taxas de retrabalho em 12%, segundo Syamil et al. (2023). Baseado na análise de COV, a correção desses parâmetros resultou em uma melhoria de 92% para 97% no FPY, sem contar os ganhos na estabilidade de processo.

Segundo Antony (2011), a quantificação da variabilidade antes do DOE aumenta significativamente a assertividade dos experimentos. Para que seja feita uma análise mais precisa, são utilizadas ferramentas computacionais, como o “*Minitab*” que permite uma análise de correlação de “*Pearson*”, modelagem de variabilidade e regressões múltiplas. Por meio dessas ferramentas, é possível identificar relações entre variáveis críticas e priorizar intervenções que gerem um impacto maior sobre a qualidade.

Sendo assim, o estudo de COV é utilizado na etapa diagnóstica mais avançada, a qual é essencial para direcionar os experimentos planejados para realizar no DOE.

3.13.2. Integração com *Lean Six Sigma* e a Indústria 4.0

Recentemente, a integração entre os estudos de COV e DOE com as tecnologias da Indústria 4.0, tem motivado uma nova era no segmento de melhoria contínua. Segundo Salacinski et al. (2023), a realização de “experimentos virtuais” e análises preditivas automáticas, tem sido possível devido à coleta de informações cada vez maior devido a utilização de sensores IoT, sistemas SCADA e análise de dados em tempo real.

Empresas líderes no mercado do setor industrial, atualmente já utilizam de plataformas digitais que combinam o DOE com algoritmos de “*machine learning*” para poderem prever falhas, ajustar automaticamente parâmetros de montagem e reduzir tempos de ciclo. Essas iniciativas têm gerado resultados significativos, como

reduções de até 40% no tempo de desenvolvimento de novos produtos e ganhos relativamente altos em confiabilidade e eficiência energética (Salacinski et al., 2023).

De acordo com Buer, Strandhagen e Chan (2018), seus estudos apontam reduções de 30 a 50% em tempos de resposta e aumento da robustez dos processos quando o DOE é integrado a sistemas “cyber-físicos”.

Essa junção de estudos e ferramentas, consolida uma abordagem “data-driven”, onde as decisões de melhoria são baseadas em simulações e evidências estatísticas, aumentando cada vez mais a precisão e agilidade das ações de engenharia. Por isso, quando COV e DOE são alinhados à automação e à digitalização, ambos se tornam ferramentas indispensáveis para que se alcance objetivos estratégicos de produtividade, redução de custos e qualidade.

Portanto, os estudos COV e DOE, permitem identificar, quantificar e controlar as principais fontes de variabilidade nos processos devido ao desempenho na estruturação de uma melhoria contínua sustentada por dados. Assim, utilizando essas ferramentas juntamente com o *Lean Six Sigma*, as organizações atingem uma confiabilidade maior no produto, redução de custos e um aumento significativo na eficiência operacional, consolidando o sistema de produção de forma mais robusta, eficiente e competitiva.

Sendo assim, esses métodos apresentados, fortalecem a cultura organizacional, baseado na inovação e à excelência operacional, e melhoram o desempenho técnico dos processos, unindo as teorias da Indústria 4.0 e da manufatura inteligente.

3.14. INDÚSTRIA 4.0 E A DIGITALIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE QUALIDADE

Desde a introdução da Indústria 4.0, as práticas de gestão da qualidade começaram a fazer uso das tecnologias digitais emergentes para alinhá-las com os métodos tradicionais de melhoria contínua. O processo de implementação da Indústria 4.0 baseia-se principalmente na automação, em sistemas ciberfísicos conectados e em processos analíticos com uso mais extensivo de tecnologia, o que permite detectar, prever e retificar mudanças no sistema de produção.

Segundo Salacinski et al. (2023), o *Six Sigma* e as aplicações digitais nesses campos, combinando informação e tecnologia, permitem um controle estatístico

mais eficaz e uma tomada de decisão mais baseada em evidências.

Os dados provenientes das indústrias baseadas em dados na manufatura estão melhorando à medida que os dados na manufatura estão mais avançados e agora estão se acelerando com a implementação de sensores baseados em tecnologia GPS, sistemas habilitados para *Internet of Things* (IoT), internet das coisas ou plataformas de dados em rede. Com essa capacidade digital, as variáveis de processo podem ser identificadas e inseridas em um sistema de análise avançada, e dados como temperatura, vibração, energia e pressão podem ser transferidos e armazenados em sistemas mais sofisticados. Assim, o monitoramento é um fluxo contínuo que permite que pesquisadores e membros da equipe de negócios analisem melhor a variabilidade e o desempenho operacional.

Existem ferramentas digitais importantes que ajudam a impulsionar a eficiência nesse processo, como o *Minitab*, que permite a análise em termos de DOE, regressão e controle estatístico em um sistema. Da mesma forma, o *Power BI* integra dados de múltiplas localizações e cria painéis interativos para que os resultados possam ser processados, interpretados e comunicados para equipes diversas. Os Sistemas de Execução de Manufatura (MES) ligam o chão de fábrica à gestão, permitindo rastreabilidade, segurança de dados e registro de todas as questões de necessidades críticas de qualidade.

Com essa infraestrutura digital, parece possível construir máquinas de CEP, com medidas imediatas sendo consideradas para análise em tempo real. Assim, em casos de desvio, um alarme automático é acionado para que se possa tomar medidas imediatamente quando ocorrer. Aprendizado de máquina e inteligência artificial também são usados para permitir que essas estruturas compreendam as situações antes de sua chegada, a fim de reduzir problemas de não qualidade e melhorar a confiabilidade do processo.

Segundo Antony (2011), a combinação entre *Lean Six Sigma* e Indústria 4.0 oferece uma nova filosofia de excelência operacional em escala, onde dados automatizados impulsionam a precisão, a qualidade e a melhoria de desempenho, fazendo com que as pessoas pensem de forma inteligente: a função de qualidade agora é proativa e preditiva, a fim de agir diante de uma situação para tomar decisões significativas a curto e longo prazo.

Nesse sentido, a digitalização dos processos de qualidade não só melhora as

operações operacionais, mas também promove uma cultura de melhoria contínua, com feedback crítico, análise, conhecimento e compartilhamento sendo reunidos e trocados em tempo real para acompanhar o ritmo. Ao fazer isso, a organização expande sua capacidade de gerenciar efetivamente, diminui a variabilidade e, portanto, torna-se mais competitiva em um setor orientado para dados e voltado para o consumidor, que está em constante evolução e mudança de negócios.

3.15. SUSTENTABILIDADE, EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E CUSTOS AMBIENTAIS

A sustentabilidade está se tornando rapidamente mais importante ao longo dos anos e tem sido incorporada aos processos de melhoria contínua na indústria. O conceito de *Green Lean Six Sigma* (GLSS) torna-se uma extensão natural do *Lean Six Sigma* para melhorar o nível de variabilidade e a gestão de resíduos, além de práticas de produção e consumo sustentáveis serem também incorporadas.

No processo industrial de máquinas de lavar, o conceito de GLSS foi aplicado para reduzir o desperdício e a sucata de material plástico, produção de logística mais eficiente e consumo de energia para aumentar a produção do produto e melhorar os testes de qualidade. Todas essas ações trabalham para processos sustentáveis, mas, por sua vez, criam uma recompensa financeira substancial para a corporação, devido à diminuição no uso de energia, otimização do transporte e materiais brutos utilizados.

Na esteira do GLSS, empresas nos setores industriais têm visto uma grande melhoria em relação à eficiência energética e redução de carbono. Esses achados são evidências de que melhorias crescentes podem ser conduzidas em linha com "Ambiental, Social e Governança", bem como "negócios verdes" para se tornarem tanto competitivas quanto éticas no campo industrial hoje.

3.16. FATORES HUMANOS E A CULTURA ORGANIZACIONAL NO *LEAN SIX SIGMA*

A efetividade do método *Lean Six Sigma* não depende apenas da sua aplicação coerente com as ferramentas estatísticas e os métodos estruturados de melhorias, mas também depende da organização da cultura de aprendizado

contínuo, além da liderança participativa e o engajamento de todo o time.

De acordo com a literatura, para que os resultados obtidos pelo método DMAIC sejam permanentes, precisa-se ter maturidade cultural e capacidade de transformar conhecimento técnico em comportamento organizacional (GEORGE, 2002).

3.16.1. O Papel da Liderança

A liderança é um dos principais fatores para a implementação e sustentação do *Lean Six Sigma*, isso ocorre porque o comprometimento da alta gestão é que define as prioridades estratégicas, alocação de recursos e legitimidade das mudanças. Segundo George (2002), as empresas definem o patrocínio executivo formal para que os projetos *Six Sigma* sejam mais eficientes e consigam ter a consolidação das melhorias ao longo prazo.

No setor industrial, como o caso da produção de máquinas de lavar roupas, é de extrema importância que se tenha o suporte da liderança para que se garanta que os ganhos de eficiência e de qualidade obtidos nas células produtivas específicas sejam consideradas na escala global, servindo de influência para as áreas de engenharia, suprimentos e manufatura.

Ademais, a liderança é responsável por promover a comunicação entre as áreas, garantindo que o *Lean Six Sigma* seja uma ferramenta de gestão integrada. Além de que, com a participação da liderança, tem-se maior clareza das metas, além do acompanhamento por indicadores e o reconhecimento das equipes envolvidas.

3.16.2. Capacitação e Desenvolvimento de Competências em *Lean Six Sigma*

Para que o *Lean Six Sigma* seja bem utilizado e bem gerido, deve-se continuar a investir em treinamento e educação de indivíduos treinados em nível profissional, como visto pela qualidade da certificação (*White Belt, Yellow Belt, Green Belt, Black Belt, Master Black Belt*).

Com programas de treinamento bem desenvolvidos e contínuos, os resultados do *Lean Six Sigma* aumentam organicamente ao espalhar o pensamento

analítico e o uso de dados e análises de dados para os funcionários. George (2002) afirma que equipes treinadas dedicam tempo à resolução de problemas e, assim, os benefícios são mais sustentáveis e de longo prazo.

Tais esforços, seja em ferramentas de variação de processos ou medições de qualidade, como máquinas de lavar, permitem que os operadores compreendam a variação do processo e melhorem os indicadores de qualidade, promovendo assim uma disposição para abordar a resolução inovadora de problemas.

Assim, através deste treinamento, o retrabalho e o desperdício podem ser reduzidos, pois as equipes serão capazes de identificar defeitos na produção e evitar que a produção deslize. O estudo de Antony (2011) indica que, com um modelo de treinamento direcionado, o retrabalho e o desperdício serão reduzidos à medida que as equipes detectam desvios muito cedo na cadeia de produção, o que pode impedir que se espalhem.

3.17. PERSPECTIVAS FINAIS

Na revisão da literatura, a aplicação da abordagem DMAIC e *Lean Six Sigma* para redução de custos e melhoria da qualidade na manufatura foi relatada em uma ampla gama e houve uma revisão. Este estudo estabeleceu que, quando a aplicação é devidamente estruturada, impacta o competitivismo, a sustentabilidade e a inovação industrial, podendo então também funcionar como ferramentas de negócios.

Na literatura, percebemos que a metodologia *Six Sigma* desenvolvida pela Motorola e propagada para diferentes empresas, no caso da General Electric, é uma prática quantitativa e disciplinada para otimização e controle de processos. Com o sistema DMAIC, eles podem reduzir variações, a estratégia de produção é fixada, defeitos são eliminados e o ciclo *Six Sigma*, que se concentra na criação de valor para o cliente e na criação de fluxo, assim como pode ser feito com a abordagem *Lean*; então o *Lean Six Sigma* é o tipo de técnica de qualidade do produto no controle de produção.

A análise de máquinas de lavar (ou seja, *Lean Six Sigma*) levará a grandes reduções em DPMO, FPY e OEE. Todas essas descobertas são válidas em estudos na indústria como LG, Electrolux e Whirlpool para mostrar que a integração da

engenharia de processos com as estatísticas e a organização pode funcionar para reduzir os custos diretos de produção, usar e maximizar o material para proporcionar alta confiabilidade no processo de produção.

Dentre as ferramentas de apoio mais importantes, temos o estudo de COV e de DOE, os quais se mostram fundamentais para compreender a influência de variáveis críticas no desenho dos processos de montagem, teste e durabilidade das lavadoras. Com o COV pode-se avaliar a estabilidade e a reprodutibilidade dos resultados, enquanto o DOE identifica as combinações ideais de parâmetros. Através da literatura evidenciamos que, ao aplicar o COV e DOE juntamente com os ciclos DMAIC, pode-se obter uma calibração com maior precisão dos processos e uma redução significativa na variabilidade e nos números de falhas.

Atualmente, tem aumentado cada vez mais a adoção da Indústria 4.0 e a digitalização dos processos de qualidade, os quais têm auxiliado no controle e na análise em tempo real. Com a implementação dos sensores IoT, sistemas de controle estatístico automatizado e plataformas de *Business Intelligence* permite que os dados de processo sejam coletados e analisados quase que instantaneamente, reduzindo o tempo de reação diante de desvios e aumentando a rastreabilidade das informações. Sendo assim, a adaptação das ferramentas tecnológicas, melhora as práticas de melhoria contínua, tornando-as mais rápidas, preditivas e conectadas.

O uso de ferramentas adicionais, reforça a importância das mesmas em identificar modos potenciais de falha e priorizar riscos de projeto e/ou processo, como por exemplo o FMEA. Já o Controle Estatístico de Processo, garante a estabilidade operacional ao monitorar variações e detectar possíveis causas especiais antes de impactarem o desempenho final. Ao associar essas práticas com sistemas de indicadores integrados, temos uma visão quantitativa e sistêmica da performance produtiva.

Quanto à gestão de forma eficiente de custos da qualidade, como custos de avaliação, prevenção e falhas, e a análise de BOM são instrumentos importantes para garantir que as economias técnicas sejam traduzidas em *savings* contabilizáveis no P&L. No entanto, um estudo mostra que ainda há inconsistências entre dados apontados na BOM, ERP e na contabilidade gerencial, reforçando a necessidade de padronização e integração entre os sistemas de informações (CHANG et al., 2025).

Contudo, a literatura mostra que há sucesso na aplicação das iniciativas *Lean Six Sigma*, o qual depende de fatores organizacionais e humanos, como uma liderança estruturada, equipes cross funcionais e rituais de acompanhamento, como reuniões periódicas, fóruns e comitês.

Ademais, segundo estudos, a digitalização aumenta o potencial de monitoramento em tempo real, acelera a identificação de causas de variação e aumenta a rastreabilidade dos indicadores (MOJUMDER, 2025). Mas, por enquanto, não foi demonstrado que a evidência de seu retorno financeiro seja realmente generalizada. No entanto, para a Indústria 4.0, é uma questão acadêmica importante quantificar quão lucrativo o *Lean Six Sigma* pode ser através da pesquisa industrial.

Em resumo, enquanto o *Lean Six Sigma* possui uma base teórica muito boa com um desempenho operacional de eficiência operacional, a conquista da integração como instrumento de controle de custo e qualidade depende, com certeza, de uma combinação entre práticas estatísticas, suporte tecnológico e gestão financeira. A consolidação das interfaces, poderá permitir uma ampliação da visibilidade dos resultados, garantindo sua sustentabilidade no longo prazo e consolidação da melhoria contínua como um pilar estratégico para a competitividade no setor de máquinas de lavar roupas. A integração do LSS com os métodos experimentais DOE e COV e as tecnologias digitais da Indústria 4.0 reduzirá quaisquer barreiras à visibilidade dos resultados, ao mesmo tempo em que garantirá que a melhoria contínua continue a ser um pilar importante da gestão da estratégia/competitividade no setor de lavadoras.

4 METODOLOGIA

4.1. ETAPAS DO CICLO DMAIC

A primeira etapa começa com a definição do problema a ser tratado, geralmente a partir de indicadores internos da empresa, como os custos de retrabalho. É nesse momento que o processo começa, de certa forma, a dar sinais mais claros, indicando onde estão os principais pontos de desvio. Mais do que simplesmente apontar um problema, o importante aqui é entender, com um pouco mais de cuidado, o que está por trás dele. Além disso, é fundamental definir bem os objetivos do projeto e os critérios de sucesso, como quem se organiza antes de seguir em frente, evitando decisões que possam se perder ao longo do caminho.

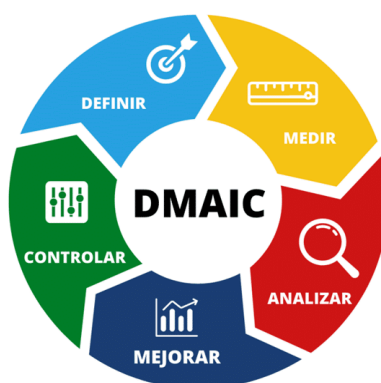
Na sequência, entra a etapa de medição, em que são coletados dados quantitativos sobre o desempenho do processo produtivo. Aqui, o olhar passa a ser mais atento às fontes de variabilidade que podem impactar os resultados. A análise de dados históricos ajuda bastante nesse processo, pois permite identificar padrões e tendências que, no dia a dia, nem sempre ficam tão visíveis. Aos poucos, os dados deixam de ser apenas números soltos e começam a fazer mais sentido, mostrando com maior clareza como o processo se comporta e onde, de fato, estão os desvios.

Na terceira etapa, o foco se desloca para a análise dessas informações, buscando compreender as causas principais dos problemas. É nesse momento que a investigação ganha mais profundidade, permitindo que relações antes difusas se tornem mais claras, como se o processo começasse, enfim, a expor suas próprias fragilidades de maneira mais compreensível. Ferramentas como o Diagrama de Ishikawa e o FMEA entram como apoio importante, ajudando a organizar o raciocínio e a aprofundar a investigação. É como desmontar o processo em partes menores para entender melhor como tudo se conecta e onde, de fato, estão as origens das falhas.

A quarta etapa é a de melhoria, quando as ações deixam o papel e começam a ganhar forma na prática. Aqui entram propostas como ajustes no layout da linha, padronização de tarefas e treinamentos operacionais. Aos poucos, o processo vai sendo ajustado, como se pequenas correções fossem alinhando o sistema para um funcionamento mais estável e eficiente.

Por fim, chega-se à etapa de controle, que tem como objetivo garantir que os resultados alcançados não se percam com o tempo. Para isso, utilizam-se indicadores de desempenho e ferramentas de acompanhamento contínuo, como cartas de controle e checklists operacionais. Assim, cria-se uma rotina de monitoramento que ajuda a manter o processo dentro dos padrões desejados, como se fosse um acompanhamento constante que sustenta as melhorias e prepara o terreno para novos avanços.

Figura 4: O Método DMAIC do *Lean Six Sigma*.



Fonte: Academy dpsys.

4.2. TÉCNICAS E FERRAMENTAS UTILIZADAS

A coleta dos dados foi realizada por meio da observação da linha de montagem, assim como a análise de documentos e relatórios internos e alinhamentos com engenheiros, supervisores e operadores do processo.

A primeira etapa (Definir), consistiu na identificação do problema e das oportunidades de melhoria no processo produtivo. A partir da análise de indicadores internos, como os custos de retrabalho e margens de rentabilidade, foi evidenciada a necessidade de reverter prejuízos associados à comercialização de lavadoras no Brasil.

Para tal atividade, foi necessário o empenho de um time cross multifuncional, composto pelas áreas de engenharia, suprimentos, manufatura, marketing e finanças. Em seguida, foram definidos os objetivos do projeto, as metas de redução de custos e os ganhos financeiros esperados. Para cada área do time cross, foram definidas metas estratégicas, as quais incluíam otimização de componentes,

negociação com fornecedores, redução de custos logísticos e melhoria de eficiência na linha de produção.

Na segunda etapa (Medir), foi realizada a coleta dos dados sobre o desempenho do processo atual. Para isso, foram utilizados modelos de lavadoras com maior e menor volume de vendas no Brasil, a fim de se realizar comparações nos modelos. O monitoramento de custos foi feito por meio da BOM, a qual é atualizada mensalmente, permitindo o acompanhamento da evolução dos custos unitários por componente.

Dados referentes a materiais, retrabalho e custos de conversão foram extraídos das análises, assegurando precisão na análise e identificação das fontes de variabilidade, considerando que não temos impactos nessas variações.

Já na terceira etapa (Analisar), tivemos a busca para identificar o que causava os problemas que estavam impactando o custo final dos produtos. Para tal finalidade, utilizamos ferramentas como o Diagrama de Ishikawa, o FMEA para que fosse possível avaliar visualmente os avanços de cada área. Sendo assim, com a distribuição de responsabilidades por área, tivemos 40% do *target* de redução para engenharia, 40% para suprimentos e 20% para manufatura, as outras áreas não tiveram grandes impactos no target de redução dos custos.

A quarta fase (Melhorar), está relacionada com a priorização e implementação de projetos com alto retorno financeiro e baixa complexidade técnica, trazendo redução de custo e de mão de obra. Esses projetos, normalmente, são identificados por meio de *workshops* com especialistas de produto, processo e materiais. Após esses *workshops*, as propostas são avaliadas com base em uma matriz de priorização e, após validação técnica, são implantadas de forma gradual. As ações normalmente podem incluir redesign de componentes, automação de operações e treinamentos operacionais.

Por fim, a última etapa (Controlar), busca garantir a sustentabilidade dos resultados obtidos. Para isso, devem ser definidos os responsáveis por cada frente do projeto, criando reuniões mensais para acompanhamento do projeto e implantando indicadores-chave de desempenho. Sendo assim, a padronização dos novos fluxos foi formalizada, e os profissionais envolvidos receberam capacitação contínua. Além disso, a comunicação estruturada com a liderança garantiu o

alinhamento estratégico e facilitou o acompanhamento dos resultados no médio e longo prazo.

Com base nas etapas descritas, o fluxo de aplicação da metodologia *Six Sigma*, por meio do ciclo DMAIC, pode ser visualizado de forma consolidada na Figura 5, evidenciando a integração entre as fases do método, o envolvimento das equipes multifuncionais e os principais resultados obtidos ao longo do projeto.

Figura 5: Fluxo de aplicação da metodologia *Six Sigma* (ciclo DMAIC) no estudo de caso.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da aplicação do ciclo DMAIC, base da metodologia *Six Sigma*, na unidade de produção de máquinas de lavar roupas, ficou bem mais evidente enxergar as principais causas por trás do deslocamento de alguns produtos no mercado. E, junto com esse entendimento mais claro, vieram também ações mais assertivas, que acabaram contribuindo tanto para a redução de custos quanto para uma melhoria perceptível da qualidade, fortalecendo, pouco a pouco, a competitividade da empresa.

No desenvolvimento do estudo, o processo foi conduzido buscando alinhar, de maneira prática, as metas entre engenharia e manufatura com aquilo que o mercado realmente demanda. Assim, garantiu-se que os resultados não ficassem apenas no papel, mas fossem mensuráveis e sustentáveis ao longo do tempo. Como destacam Pyzdek e Keller (2014), o DMAIC favorece a melhoria contínua justamente por se apoiar em dados concretos, ao mesmo tempo em que ajuda a reduzir a variabilidade.

Com base nisso, os resultados de cada etapa foram organizados de forma detalhada, respeitando o que cada fase do ciclo exige. Ao longo dessa construção, foram consideradas análises técnicas, interpretações de dados e também relações com conceitos de engenharia, compondo uma visão mais completa e conectada do processo.

Antes de entrar, de fato, nas etapas, é importante destacar que os dados utilizados neste estudo vieram de relatórios internos das áreas de Engenharia de Produção, Qualidade e Manufatura, além de registros extraídos do sistema corporativo “*Systems Applications and Products in Data Processing (SAP®)*”, todos referentes ao período de execução do projeto piloto na planta. Ressalta-se que, em função do caráter sigiloso das informações corporativas, os dados foram tratados e apresentados de forma agregada, preservando a confidencialidade sem comprometer a análise dos resultados.

Os indicadores de eficiência, qualidade e custo foram consolidados com o apoio de equipes multifuncionais, envolvendo planejamento, manufatura, qualidade, engenharia e suprimentos, o que trouxe mais segurança e consistência às informações analisadas. Já as análises estatísticas foram realizadas com o suporte

do software Minitab, permitindo acompanhar, com mais precisão, as variações de desempenho, os índices de defeitos (DPMO) e os ganhos em produtividade e qualidade.

Por fim, para garantir a confiabilidade dos dados corporativos, os valores financeiros e operacionais foram padronizados e apresentados em percentuais e estimativas relativas. Dessa forma, mantém-se a proporção real entre os indicadores e, ao mesmo tempo, assegura-se a consistência dos resultados, o que facilita, e muito, a compreensão dos impactos das melhorias implementadas sobre a qualidade, a produtividade e os custos.

Os valores percentuais apresentados nos resultados foram calculados nos resultados foram obtidos com base em dados de três principais fontes, as quais são:

1. Relatórios financeiros e operacionais internos extraídos do sistema *SAP®*;
2. Análises estatísticas conduzidas no *software Minitab*, para controle de variação, regressão e hipóteses;
3. Informações qualitativas provenientes de pesquisas de mercado, feedbacks de clientes e relatórios de pós-vendas.

Para os indicadores quantitativos, como por exemplo DPMO, custo por unidade e eficiência, esses utilizam médias ponderadas e variações percentuais entre períodos considerados “antes” e “depois” da implementação do DMAIC. Já os percentuais de melhoria foram calculados pela fórmula padrão de variação relativa:

$$\text{Variação (\%)} = \frac{(\text{Valor Final} - \text{Valor Inicial})}{\text{Valor Inicial}} \times 100$$

Já as informações qualitativas, como por exemplo, preferências do consumidor e percepções de qualidade, foram consolidadas a partir de dados do Serviço de Atendimento ao Consumidor (SAC), de formulários de pesquisa de satisfação e relatórios de área de Marketing. Todos os dados foram convertidos em métricas percentuais, as quais representam a distribuição de preferências por atributos, como capacidade, consumo, ruído, filtragem e sustentabilidade.

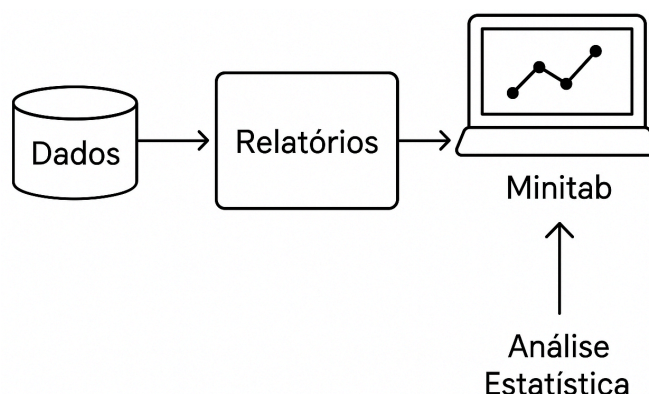
Quanto à coleta de dados, esta foi realizada diretamente nas linhas de montagens das máquinas de lavar roupas, incluindo as 4 linhas produtivas e os três turnos de operação. Foram analisadas cerca de 160 mil unidades por mês,

totalizando 2 milhões de produtos produzidos ao longo de um ano. Os dados foram obtidos através dos sistemas de controle de produção e complementados com medições de tempo de ciclo e registros de defeitos.

Ademais, as informações financeiras foram integradas aos relatórios operacionais pelo SAP® e pela BOM, garantindo que se tenha rastreabilidade entre os custos de materiais e as melhorias implementadas. Já os indicadores de qualidade, estes foram controlados por meio de auditorias de produto final, testes funcionais e reclamações de clientes provenientes do sistema de pós-venda.

A Figura 6 detalha exatamente como é realizado o fluxo desde a coleta dos dados até o tratamento do mesmo.

Figura 6: Fluxograma da origem e tratamento de dados.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Segundo Pyzdek e Keller (2014), a confiabilidade dos dados é um fator essencial para a eficácia do *Six Sigma*, visto que as decisões quando são baseadas em informações inconsistentes podem comprometer a sustentabilidade das melhorias. Ademais, George (2002) afirma que o uso de ferramentas estatísticas, como por exemplo o Minitab, é determinante para garantir a precisão das análises e a rastreabilidade dos resultados obtidos em projetos industriais de grande porte.

5.1. DEFINIR

Nesta etapa, tivemos como objetivo mapear os problemas que impactam a qualidade e os custos dos produtos, alinhando com as necessidades do mercado consumidor e com as metas estratégicas da empresa. De acordo com Pande et al.

(2001), esta fase é essencial para que se possa estabelecer um direcionamento claro do projeto, garantindo que todas as etapas seguintes estejam alinhadas com a necessidade do cliente (VOC) e nas prioridades competitivas da empresa.

Inicialmente, realizou-se um mapeamento dos problemas identificados na linha de produção e no portfólio das lavadoras. Esse processo consistiu em entrevistas realizadas com as equipes internas, análises de históricos de falhas, relatórios de garantia e auditorias internas, conforme recomenda Werkema (1995), o qual destaca a importância de integrar dados qualitativos e quantitativos para reduzir vieses na identificação do problema.

Com auxílio da equipe de marketing, foi realizado um estudo do comportamento do consumidor, utilizando integração de diferentes fontes de dados, como por exemplo:

- Relatórios de vendas dos últimos três anos;
- Feedbacks coletados por meio de SAC;
- Análises de comentários de e-commerce;
- Benchmarking com principais concorrentes.

Segundo o conceito de Slack et al. (2023), a compreensão estruturada das necessidades do cliente é a base para a priorização de melhorias de produto garantindo maior alinhamento com a geração de valor.

Os resultados obtidos nas análises, revelou que há 4 grupos predominantes, como mostra o Quadro 5. Cerca de 50% do público tem maior preferência por alta capacidade e recursos tecnológicos, refletindo uma tendência crescente de famílias que buscam maior conveniência e conectividade, o que é confirmado pelo estudo sobre eletrodomésticos inteligentes do Hu & Zhang (2020). Enquanto 25% do público analisam menores ruídos e baixo consumo, valorizando os ciclos rápidos que tenham baixo consumo de água e energia, características associadas a consumidores urbanos que buscam eficiência e sustentabilidade. Já 15% dos consumidores, valorizam um filtro de boa qualidade, como o filtro pega-fiapos e ciclo Pet, e por fim, cerca de 10% tem preferência por produtos focados em reuso de água e funcionalidades ecológicas, segmento que vem crescendo de acordo com relatórios recentes sobre comportamento sustentável (Naderpajouh et al., 2021).

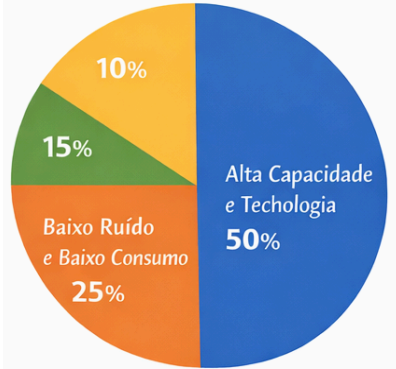
Quadro 5: Preferência do Mercado Consumidor de Lavadoras.

Critério de Preferência	Percentual de Consumidores	Descrição da Preferência	Fonte de Dados
Alta Capacidade e Tecnologia	50%	Modelos com IA, conectividade com Wi-fi e maior volume de carga	Pesquisa de mercado e dados de vendas
Baixo Ruído e Baixo Consumo	25%	Equipamentos com menor ruído e consumo de água e energia	Feedbacks de clientes e relatórios de pós-venda
Filtro de Qualidade	15%	Funcionalidades de limpeza profunda e remoção de pelos de animais	Análise de comentários de consumidores e SAC
Reuso de Água / Modo “Eco”	10%	Foco em sustentabilidade e economia de recursos naturais	Pesquisas de preferência de mercado e relatórios ambientais

Fonte: Elaborado pela própria autora.

Os resultados obtidos nas análises presente no Quadro 5, revelaram 4 grupos predominantes de consumidores, conforme apresentado na Figura 7.

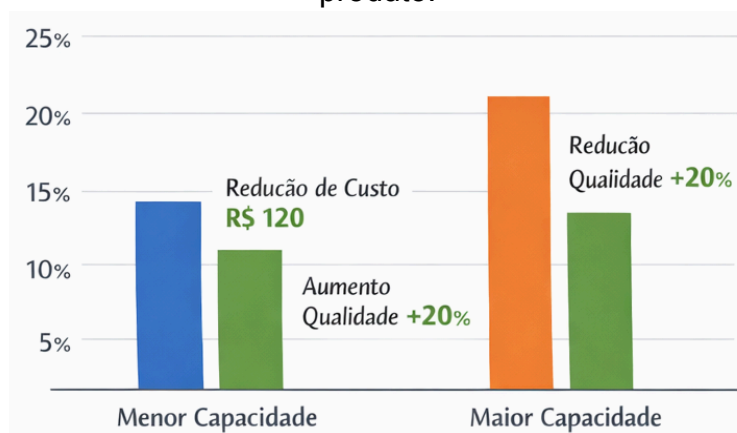
Figura 7: Distribuição das preferências dos consumidores.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Com base nesses dados, temos uma meta de redução de custo de R\$ 120 por unidade e um aumento de 20% no índice de qualidade nos produtos de menor capacidade, e cerca de R\$ 200 e um aumento de 15% no índice de qualidade nos produtos de maior capacidade. Essa estratégia com base nos dados de mercado foi muito importante para alinhar os objetivos do trabalho com a realidade comercial. Além disso, a definição dessas metas seguiu o princípio VOC, um dos pilares da metodologia *Six Sigma*, o que trouxe um direcionamento mais claro, como se o próprio mercado indicasse o caminho a ser seguido. Dessa forma, as melhorias não ficaram soltas e/ou desconectadas da realidade, mas alinhadas, de fato, às expectativas dos clientes. Como destacam Slack et al. (2023), considerar a voz do cliente acaba sendo um ponto de partida essencial para decisões mais consistentes. As metas estabelecidas para redução de custo e aumento de qualidade estão representadas na Figura 8.

Figura 8: Metas de redução de custo e aumento de qualidade por categoria de produto.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

No que diz respeito ao planejamento das metas, optou-se por estruturá-las em horizontes de curto, médio e longo prazo, conforme apresentado na Tabela 6. Essa organização conversa diretamente com o estudo de Kaplan e Norton (2004), que abordam o alinhamento entre estratégia e operação. E, de certa forma, dividir as metas assim torna o processo mais compreensível e até mais tangível, facilitando a construção de um *roadmap* mais bem definido, onde os marcos do projeto, a viabilidade das ações e os retornos esperados passam a fazer mais sentido dentro do todo.

Quadro 6: Descrição das atividades de acordo com o prazo de conclusão.

Prazo	Descrição
Curto	- Ações que não demandam a necessidade de testes, investimentos e/ou negociações de custos de componentes com fornecedores; - Prazo de 1 à 8 meses de execução de projeto.
Médio	- Ações que demandam de investimento ou de alta complexidade técnica, necessitando de um período maior de testes; - Prazo de 9 à 18 meses de execução de projeto.
Longo	- Ações de avaliação de portfólio e lançamento de novos produtos no mercado; - Prazo de 19 à 24 meses de execução de projeto.

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Ademais, ainda na fase de definição, houve o envolvimento direto dos stakeholders internos, como as equipes de engenharia, suprimentos, logística, qualidade, manufatura e planejamento, o que ajudou a criar um comprometimento mais natural entre as áreas. Conforme aponta Liker (2005), esse alinhamento entre setores é fundamental para evitar desperdícios, melhorar o uso dos recursos e garantir que os objetivos não fiquem apenas na intenção, mas realmente se concretizem.

Com o avanço dessa etapa, também foi possível estruturar os principais KPIs, como índice de qualidade, custo por unidade e eficiência operacional. Isso permitiu que as próximas fases fossem conduzidas com mais clareza e objetividade. No fim das contas, esse alinhamento funciona quase como um eixo central do projeto: mantém os esforços bem direcionados e ajuda a garantir que as iniciativas tragam resultados reais e perceptíveis para a empresa.

5.2. MEDIR

Na fase medir, o objetivo foi criar uma base de dados sólida, confiável e padronizada, permitindo compreender o desempenho atual do processo e identificar quais fatores impactam os custos e a qualidade do produto. De acordo com George (2002), essa etapa é de suma importância para que se possa eliminar decisões que são pautadas sobre percepções subjetivas, garantindo que todas as análises sejam fundamentadas em evidências quantitativas. Além disso, Montgomery (2016) reforça que medições incorretas comprometem toda a confiabilidade do controle estatístico e da análise de causas, podendo gerar conclusões equivocadas.

Para isso, foi utilizada a ferramenta usual da empresa, conhecida como BOM, para analisar os custos detalhados dos componentes e por SKU, permitindo identificar os itens com maior impacto financeiro.

Por meio da BOM determinam-se:

- Componentes de cada SKU;
- Custos unitários diretos;
- Materiais internos e externos;
- Fornecedores homologados;
- Estrutura hierárquica dos subconjuntos.

No Quadro 7, temos algumas das informações que encontramos na BOM.

Quadro 7: Componentes de descrição presentes na *BOM*.

Item	Descrição
<i>Part Number</i>	Cada componente possui um número.
Nível	Peças e sub peças estão associadas à montagem de um componente seguindo uma ordem hierárquica de ordem de construção. Essa ordem é o nível de cada item.

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Quadro 7 (Continuação): Componentes de descrição presentes na *BOM*.

Item	Descrição
Tipo	Definição de característica se a peça é um componente ou matéria prima.
Quantidade	Definição do multiplicador do custo unitário.
Unidade de Medida	Definição do sistema padrão de medição do item.
Custo Unitário - <i>FOB</i>	<i>Free On Board</i> é o custo do item em seu respectivo país de origem somado de seu respectivo frete até o ponto de exportação definitivo.
Custo Unitário - " <i>Landed</i> "	Custo do item final, recebido na planta de manufatura, somado às taxas e impostos.
Custo Total - BOM	É o custo <i>Landed</i> multiplicado pela quantidade utilizada por produto.

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Segundo Slack et al. (2023), a BOM é um dos instrumentos mais eficientes para identificar oportunidades de redução de custos industriais, pois esta permite rastrear o custo de cada item desde a matéria-prima até o produto acabado.

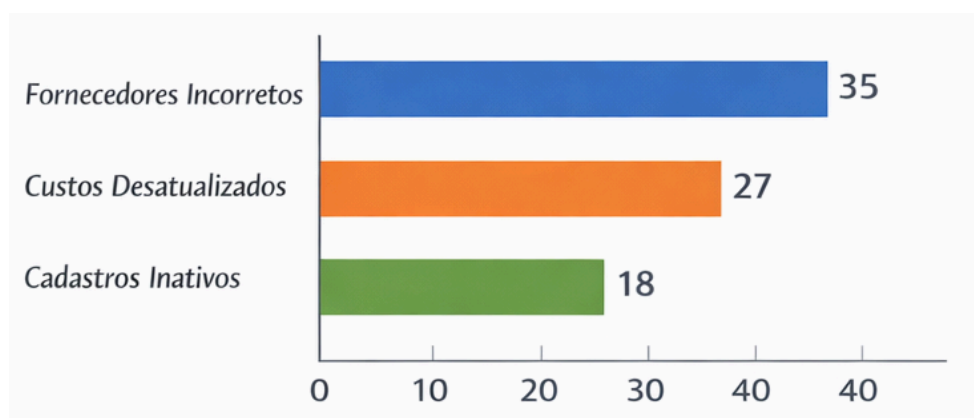
Durante a utilização da ferramenta, foi notado uma diferença entre as iniciativas de redução de custos e os dados reportados no sistema, isso ocorreu, principalmente devido a falhas no sistemas, falta de atualizações e falta de comunicação entre os times. Segundo George (2002), falhas no fluxo de dados são um dos maiores obstáculos para a implementação eficaz do *Lean Six Sigma*, pois distorcem a visão real do processo.

Dentre os erros encontrados durante o processo, foram identificadas inconsistências significativas relacionadas ao controle de custos e à atualização das

informações no sistema *Systems Applications and Products in Data Processing* (SAP®). Por meio deste, é possível constatar algumas falhas no preenchimento do sistema que resultaram em registros desatualizados e incapazes de refletir as recentes modificações nos preços dos componentes utilizados na produção. Como exemplo dessa falha temos componentes com preços desatualizados por mais de 6 meses, ausência de integração automática com mudanças negociadas pelo time de suprimentos e o custo de matéria-prima não refletindo o preço atualizado de *commodities*.

As principais inconsistências identificadas durante a análise da BOM estão apresentadas na Figura 9.

Figura 9: Principais inconsistências identificadas na higienização da BOM.



Fonte: Elaborada pela própria autora.

Também foi observado a ausência de atualizações dos dados de fornecedores, o que compromete a precisão das informações necessárias para a adequada gestão de custos, afetando possíveis tomadas de decisões estratégicas. Além disso, notou-se que não havia a inclusão de taxas adicionais em diversos componentes da lista, principalmente sobre peças importadas, como tarifas alfandegárias e custos de transporte internacional. Essa omissão ocasiona distorções na composição do custo total dos produtos. De acordo com Slack et al. (2023), uma base de fornecedores atualizada é essencial para negociações estratégicas e redução de riscos na cadeia de suprimentos.

Outro fator importante que foi identificado, é a falha na comunicação entre os times envolvidos no processo produtivo e administrativo, o que resultava na

ausência de repasse de informações sobre variações de custos de determinados itens. Essa falha, contribui para a falta de padronização das informações e dificulta o alinhamento entre os setores. Christopher (2010) reforça que ignorar os custos logísticos resulta em distorções significativas no TCO.

De forma geral, esses fatores impactam diretamente a confiabilidade e a integridade das informações registradas no sistema, dificultando a realização de análises gerenciais precisas e comprometendo o controle efetivo dos custos de produção.

Devido a essas inconsistências, foi necessário realizar uma análise mais detalhada juntamente com o time cross para revisar os dados, corrigir as falhas, padronizar os processos de medição e garantir a acuracidade dos dados. Dentre as análises realizadas, utilizamos o método de “higienização”, onde a BOM de cada SKU é analisada linha à linha, verificando cada fornecedor, se todos estão ativos, com o *share* real entre eles, e também, verificamos os custos, chegamos se estão dentro do cadastrado na *List of Fees* (LOF). Por meio dessa higienização, pudemos identificar várias falhas nas nossas BOM, como *share* de fornecedores incorretos, causando uma variação nos custos das peças, e até mesmo, cadastro de fornecedores que não são mais aplicados na produção. O Quadro 8 mostra os resultados obtidos por meio da “higienização” da BOM.

Quadro 8: Resultados da higienização da BOM.

Tipo de Inconsistência	Quantidade Encontrada	Impacto Estimado no Custo
Shares Incorretos	12 SKUs	+1,8% no custo médio
Fornecedores Inativos	9 SKUs	Distorção de análises
Componentes com o custo errado	18 SKUs	+3% no custo total
Taxa não Incluídas	9 SKUs	+2% no custo real

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Toda essa inconsistência, acaba resultando em custos mais elevados do que o real de cada produto, trazendo divergências nos nossos resultados e nos desafiando ainda mais com a redução dos custos. Com os ajustes realizados, o time passou a monitorar as variações mensais de custos com maior precisão, tendo uma análise mais detalhada e confiável para tomar decisões mais assertivas.

De acordo com George (2002), dados confiáveis são a base de qualquer programa *Six Sigma*, sem estes dados, as decisões são apenas intuitivas e propensas a erros. Também, Montgomery (2016), enfatiza que o controle estatístico de processo depende de medições precisas para detectar possíveis desvios e implementar ações corretivas de forma eficaz.

Com a melhoria nessa fase de medição, conseguimos identificar componentes mais críticos com maior impacto no custo total da produção de cada SKU, permitindo ter mais oportunidades estratégicas para a negociação com fornecedores, trazendo possíveis desenvolvimento de novos fornecedores, o que nos gera maior competitividade e nos permite ter maior redução de custos. Além dessa nova perspectiva com fornecedores, também tivemos maiores oportunidades de redesign de componentes, substituição de materiais e alteração de processo. Esse foco no custo por função e análise de valor, visa maximizar o retorno financeiro sem comprometer a qualidade do produto final.

Logo, nessa fase medir, consolidamos a base de dados e os indicadores para as próximas ações do ciclo DMAIC, garantindo que cada iniciativa seja baseada em informações precisas e confiáveis, fortalecendo a tomada de decisão.

5.3. ANALISAR

Nesta etapa, tínhamos como objetivo identificar as causas raízes dos problemas, avaliar o impacto de cada fator no custo e qualidade, e então, definir as ações estratégicas para as correções necessárias. Essa fase é o centro do ciclo DMAIC, pois é onde ocorre a transformação de dados em conhecimento gerencial, conforme defendido por George (2002), que reforça que a fase de Análise é responsável por “separar os sintomas das causas reais”.

Para um acompanhamento e controle dos projetos de redução de custos e melhoria de qualidade, há fóruns e sistemas de acompanhamento desenvolvidos, como Porsche, GGPE, Fórum de BOM e o Sistema de Controle de *Shortages*.

A Porsche, uma reunião realizada duas semanas na semana entre os líderes de projeto e o time multifuncional (qualidade, logística interna, logística externa, planejamento, suprimentos, manufatura e serviço). A participação de todos os membros é de suma importância para o alinhamento das prioridades entre os projetos e o acompanhamento detalhado das etapas de execução. Essa reunião tem foco na execução das iniciativas, no alinhamento das prioridades e verificação dos progressos de cada projeto.

De acordo com Montgomery (2016), a variabilidade do processo só pode ser reduzida quando há ciclos curtos de *feedback*, o que justifica a frequência elevada das reuniões.

Os projetos que passam pela Porsche, podem utilizar um fluxo adicional implementado, o qual consiste na centralização da liderança das áreas multifuncionais em um nível hierárquico mais elevado, abrangendo gestores, gestores seniores e diretores. Esse fluxo ocorre por meio de reuniões destinadas à validação do progresso dos projetos, permitindo, ainda, a realização de solicitações de suporte à liderança, alinhamentos estratégicos sobre a execução de novos projetos e a adequada alocação de recursos.

O GGPE é realizado semanalmente com a participação da alta liderança de todo o time multifuncional e dos líderes de projeto. Esse encontro tem como objetivo, analisar os resultados obtidos, alinhamento do início de um projeto, identificação de riscos e o planejamento de ações preventivas. Essa é uma reunião importante para o canal de apoio estratégico, onde são discutidas as demandas que exigem intervenção da alta gestão, permitindo o destravamento de pendências e a aceleração dos resultados organizacionais.

Essa prática do GGPE está alinhada ao que George (2002) defende, a importância do acompanhamento estruturado de projetos estratégicos precisam de acompanhamentos direto da liderança para evitar desvios no planejamento e garantir foco no que gera resultado. E, segundo Kaplan & Norton (2004), esse tipo de encontro permite conectar indicadores operacionais aos indicadores estratégicos, fortalecendo a execução da estratégia da empresa.

Já o Fórum de BOM, é voltado para o acompanhamento rigoroso das divergências entre o consumo teórico e o real dos componentes por SKU, identificando:

- Subconsumo e sobreconsumo;
- Inconsistências de cadastro;
- Divergências entre engenharia, produção e fornecedores;
- Desvio de materiais;
- Perdas sistêmicas;
- Falhas no apontamento interno.

Com a implementação deste fórum, foi possível ter mais controle sobre o uso de materiais, garantindo maior precisão nas métricas de custo e promovendo a transparência entre as áreas de engenharia, planejamento e produção. Essa iniciativa está interligada à análise de valor e custeio por função, conforme discutido por do Slack et al. (2023), os quais defendem que conhecer exatamente onde cada centavo é gasto é essencial para que se tenha uma redução de custos sustentáveis.

Ademais, Hu & Zhang (2020) e Naderpajouh et al. (2021) mostram que, em setores de eletrodomésticos, a variabilidade no consumo de matérias-primas é um dos principais fatores que impactam custo e competitividade, reforçando a importância de fóruns como este de BOM.

A análise feita por este fórum, não se restringe apenas ao ambiente interno da organização, mas também aos fornecedores externos, para que se tenha uma validação mais coerente das quantidades efetivamente utilizadas, principalmente nos insumos de maior relevância para a fabricação do produto final, como o caso de plásticos e metais.

Por último, o Sistema de Controle de Shortages, é responsável pelo monitoramento contínuo para mitigar os riscos de parada de produção, evitando falhas de suprimento, cortes repentinos de fornecedores, atrasos nas entregas, falha no abastecimento devido a erros logísticos, problemas com ferramental ou recebimento de lotes fora dos padrões estabelecidos que bloqueiem a produção. Esse controle tem mostrado alta eficiência, garantindo um alto índice de resolução de casos identificados e prevenindo qualquer interrupção na linha de produção.

Com essas ferramentas, o time tem um controle mais detalhado dos projetos, facilitando decisões rápidas e assertivas. A análise não ficou restrita apenas aos números, mas foram analisados os fatores sistêmicos que causam variações nos processos. Segundo George (2002), identificar as causas raízes de problemas requer uma visão integrada dos processos e interação entre as equipes.

Também, com essas ações, o time busca uma melhor gestão operacional, focando na agilidade de execução de projetos e mantendo a integridade das informações.

O envolvimento da alta liderança, conforme George (2002), fortalece a cultura de melhoria contínua, garantindo engajamento organizacional e supervisão estratégica. Dessa forma, a análise nos permitiu mapear componentes críticos, processos com maior variabilidade e gargalos operacionais, definindo prioridades para as fases seguintes do ciclo DMAIC.

Além disso, foi realizada uma análise comparativa de desempenho, verificando quais produtos apresentam maior custo unitário e quais apresentam desvios significativos de qualidade. Ao unir esse estudo com às discussões nos fóruns, foi possível realizar a criação de planos de ação específicos para cada SKU, reforçando a abordagem baseada em dados do *Six Sigma*.

Portanto, a etapa de análise, consolidou o entendimento dos problemas e forneceu uma gama de oportunidades de melhoria, que serviu de base para a implementação prática das soluções na fase de melhoria.

5.4. MELHORAR

O objetivo da fase melhorar é implementar as soluções validadas na etapa anterior, visando otimizar os processos produtivos, reduzir variabilidades e atingir as metas de custo e qualidade. Essas iniciativas adotadas, foram baseadas nos conceitos do *Six Sigma*, *Lean Manufacturing* e Engenharia de Produção, conforme recomendado por Montgomery (2016), Shah e Ward (2007) e George (2002).

Assim, todos os projetos passaram a utilizar ferramentas de acompanhamento e fluxos mais padronizados, garantindo maior controle nos resultados, padronização e rastreabilidade. A literatura destaca que a padronização é um dos pilares fundamentais para sustentar melhorias. George (2002) argumenta

que processos padronizados reduzem o retrabalho, enquanto Slack et al. (2023) reforçam que a uniformidade operacional é essencial para eliminar desperdícios e garantir estabilidade. Ademais, defendem que empresas com processos estruturados apresentam maiores ganhos de eficiência e menor risco de desvios sistêmicos.

Os fluxos estabelecidos foram implementados a todos os projetos em andamento, passando a ser obrigatório para todo projeto iniciado, buscando maior padronização e tentando mitigar os possíveis problemas. Dentre os projetos tocados, tínhamos projetos grandes, que incluíam a criação e adaptação de ferramentas da produção, exportação e reorganização do layout atual da fábrica para otimizar os fluxos de materiais e produção, os quais foram implementados em até 6 meses, gerando um retorno financeiro de R\$5M por ano.

Este tipo de intervenção está interligado ao conceito de “*breakthrough improvement*” defendido por Juran (1992), o qual melhorias estruturais podem promover saltos de desempenho quando combinadas com controle rigoroso dos processos.

Estudo como Slack et al. (2023), mostra que a reorganização de *layouts* com base em fluxos *Lean* reduz movimentações, tempos de ciclo e custos logísticos internos, evidenciando que a iniciativa adotada pela fábrica segue tendências comprovadas.

Além de um projeto de possível *shortage*, que foi possível implementar em menos de 3 meses, o qual envolvia mudanças de ferramentas, tolerâncias e internalização do processo, evitando qualquer risco de parada de produção e perdas associadas. A literatura demonstra que, em cadeias de suprimentos industriais, o risco de interrupções é um dos fatores mais relevantes para variação de custo e qualidade. De acordo com Christopher (2010), estratégias de mitigação, como por exemplo, redesign, mudanças de tolerância e internalização de processos, reduzem a vulnerabilidade a rupturas.

Além disso, Slack et al. (2023) reforçam a importância da agilidade na tomada de decisões envolvendo fornecedores e na adaptação técnica de componentes para prevenir paralisações, especialmente em indústrias de manufatura discreta como a de eletrodomésticos.

O Quadro 9, mostra os principais projetos, duração, impacto financeiro e o impacto na qualidade.

Quadro 9: Projetos Implementados.

Projeto	Prazo	Impacto Financeiro	Impacto na Qualidade
Redesign de ferramentas	6 meses	R\$2,1M/ano	Médio
Reorganização de layout	6 meses	R\$1,7M/ano	Alto
Otimização da exportação	4 meses	R\$1,2M/ano	Baixo
Projeto de Shortage	3 meses	Prevenção de parada	Alto

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Os times também realizaram *workshops* com o objetivo de potencializar o alcance das metas estabelecidas, envolvendo todas as áreas da empresa, como suprimentos, logística, qualidade, subsistemas, tecnologia, manufatura e marketing. Um desses eventos teve a duração de uma semana e contou com a participação de diversos fornecedores de resinas, de países diferentes, com tecnologias diferentes e objetivos diferentes.

Segundo o estudo de Montgomery (2019), eventos interdisciplinares aceleram descobertas de soluções de alto impacto, pois incorporam diferentes expertises técnicas.

O *workshop* de resinas, resultou em 4 possíveis propostas de redução de custos, sendo todas de alto impacto, seja para custo, qualidade ou produção. Dentre essas propostas 2 foram possíveis implementar em menos de 6 meses de projeto, trazendo uma redução de custo de R\$ 4M, aproximadamente. Uma dessas propostas precisou de investimento na fábrica com maquinários, mas a outra foi necessário apenas alguns testes de produto para aprovação.

Em outro evento, denominado de *teardown*, que é uma análise de desmontagem competitiva onde desmontamos os produtos dos competidores, foram analisados quatro produtos de concorrentes com especificações compatíveis aos itens-alvo das reduções de custo. Esses produtos foram desmontados e avaliados pelas equipes presentes, possibilitando a identificação de oportunidades adicionais de otimização de custos.

Essa prática está alinhada com o conceito de *competitive benchmarking*, amplamente discutido por Slack et al. (2023), os quais argumentam que a desmontagem sistemática de produtos de mercado permite identificar lacunas internas e práticas superiores de engenharia. Além disso, o estudo recente de Zhuang et al. (2021), mostra que *teardowns* bem estruturados podem gerar até 40% mais ideias de melhoria quando comparados às análises internas tradicionais.

A partir desse evento, surgiram 63 propostas, as quais foram submetidas à matriz de prioridades, podendo ser de baixo esforço e alto impacto (Tipo A); alto impacto e alto esforço de implementação (Tipo B); baixo esforço e baixo retorno (Tipo C); e descartado por inviabilidade técnica e/ou incompatibilidade com o processo de manufatura (Tipo D). A classificação das propostas seguiu modelos de priorização, recomendado por autores como Pyzdek e Keller (2014). Dentre as propostas obtidas, tivemos 21 do tipo A, 18 do tipo B, 10 do tipo C e 14 do tipo D. O Quadro 10, mostra como ficou essa distribuição.

Quadro 10: Resultado do *Teardown*.

Tipo de proposta	Descrição	Quantidade
Tipo A	Alto impacto e baixo esforço	21
Tipo B	Alto impacto e alto esforço	18
Tipo C	Baixo Impacto e baixo esforço	10
Tipo D	Inviável tecnicamente e/ou incompatível com o processo atual	14

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Com as ideias obtidas nos *workshop*, tivemos uma possibilidade de redução de custo por produto de aproximadamente, R\$65,00, sendo o custo médio dos produtos de R\$850,00 (considerando a média dos custos de todos os produtos ativos), alcançando cerca de 54% da meta. As ideias de baixa prioridade foram reagrupadas, gerando projetos maiores e com mais de uma atividade, os chamados *bundles* que foram distribuídos entre os líderes de projetos disponíveis.

Esse desempenho superou as metas da área de tecnologia e engenharia, aliviando a carga de entrega para os demais setores. Ademais, também tivemos um ganho significativo em qualidade nos produtos devido a implementação dos projetos, trazendo um aumento significativo no percentual de qualidade, aumentando de 4,8% para 5,6% na meta. Esse impacto positivo na qualidade nos mostra que a eficiência financeira não compromete o desempenho técnico.

De acordo com George (2002), a padronização de processos e a eliminação de variabilidade são fundamentais para consolidar ganhos de produtividade. No entanto, Juran (1992) reforça a teoria de que a melhoria da qualidade deve ser contínua, e não projetos pontuais, este conceito ocasionou toda a implementação das melhorias nesta fase.

Logo, essa fase reforçou a integração entre áreas técnicas e de apoio (time multifuncional, formado por Engenharia, suprimentos, manufatura, finanças, marketing, planejamento, service), permitindo que decisões sobre redesign de peças, substituição de materiais e renegociação com os fornecedores fossem tomadas de forma mais rápida e eficiente. Todas essas abordagens sistêmicas apontadas, seguem recomendações do Slack et al. (2023) sobre gestão da produção, onde a comunicação e alinhamento entre setores são essenciais para otimizar resultados.

Nessa fase, também foram definidas e implementadas ações estratégicas com foco na redução dos custos de produção e no aumento da eficiência operacional. O desdobramento das metas de redução de custos foi realizado de forma estruturada entre as áreas envolvidas no projeto. Assim, 40% do *target* foi direcionado à engenharia, 40% à área de suprimentos e os 20% restantes à manufatura. Essa distribuição refletiu as principais oportunidades identificadas ao longo do processo, com maior concentração de ganhos nas etapas de otimização de

componentes e negociação com fornecedores, sem deixar de considerar as melhorias operacionais na linha de produção.

Por fim, a fase Melhorar consolidou uma melhoria sustentável, ao criar padrões replicáveis, reduzir custos significativos e fortalecer a confiabilidade dos produtos, evidenciando a aplicação prática e estratégica do *Six Sigma* na Engenharia de Produção.

5.5. CONTROLAR

A fase de controle foi focada na execução das iniciativas baseadas nas estratégias de implementação após ter os ganhos financeiros consolidados, garantindo a sustentabilidade das melhorias implementadas. Para isso, foram adotadas estratégias focadas em padronização, monitoramento contínuo e treinamento das equipes.

Segundo Montgomery (2016), o controle efetivo de processos exige a definição clara de responsáveis, indicadores monitoráveis e mecanismos de retroalimentação que permitam ações corretivas rápidas. O time de engenharia, principalmente o *System Integration*, teve como responsabilidade, liderar a condução dos fóruns e realizar o treinamento das equipes, garantindo uma padronização e alinhamento para implementação dos projetos, garantindo que os fluxos e metodologias fossem aplicados corretamente em todos os projetos. Essa prática analisada segue os princípios de Deming (1990), o qual enfatiza que a melhoria contínua só pode ser eficaz quando acompanhada de monitoramento sistemático e controle rigoroso.

A literatura reforça que a sustentabilidade das melhorias depende da capacidade de padronizar processos e institucionalizar rotinas que garantam a repetibilidade dos resultados. De acordo com George (2002) e Pyzdek e Keller (2014), a fase de Controle é o momento em que o *Six Sigma* deixa de ser um conjunto de iniciativas pontuais e passa a fazer parte do sistema de gestão da empresa. Sendo assim, a padronização dos fluxos desenvolvidos durante o projeto foi essencial para diminuir as variações operacionais, reduzir os erros e criar uma base comum de execução, o que está alinhado com os princípios de estabilização do *Lean Manufacturing* (Slack et al., 2023; Shah e Ward, 2007).

Além dos fóruns com a alta liderança, relatórios mensais passaram a ser apresentados à alta liderança, contendo indicadores importantes de desempenho como custo por unidade, índices de qualidade, eficiência de processos e riscos de shortages, permitindo ajustes quando necessário e evitando possíveis falhas. Esses relatórios possibilitaram ajustes ágeis sempre que variações indesejadas eram identificadas, quase como um sinal antecipado que orientava a ação antes que o desvio ganhasse maiores proporções. Nesse sentido, reforçou-se, de maneira bastante consistente, a tomada de decisão baseada em dados confiáveis, evitando intervenções intuitivas ou pouco fundamentadas. A adoção desses indicadores dialoga diretamente com o conceito defendido por Montgomery (2016), no qual as decisões passam a ser guiadas por evidências, permitindo agir de forma proativa e evitar que problemas, ainda incipientes, se tornem mais complexos ao longo do tempo.

Para dar sustentação a esse processo, a governança foi estruturada por meio de fóruns que reuniram diferentes áreas da planta, como Suprimentos, Planejamento, Qualidade, Manufatura e Logística. Essa composição multidisciplinar favoreceu uma integração mais fluida entre os setores, como se as fronteiras organizacionais se tornassem menos rígidas, abrindo espaço para uma comunicação mais alinhada. Conforme apontam Liker (2005) e Christopher (2010), essa cooperação entre áreas é fundamental tanto para a sustentação da melhoria contínua quanto para o fortalecimento da resiliência organizacional. Como resultado, observaram-se reduções em retrabalhos, maior clareza na comunicação e decisões mais assertivas, quase como um reflexo natural de um sistema mais integrado.

O acompanhamento sistemático dos KPIs também permitiu avaliar, com maior precisão, o impacto de cada iniciativa implementada, possibilitando comparações entre o desempenho anterior e posterior às ações. Assim, os indicadores deixaram de ser apenas registros operacionais e passaram a funcionar como um espelho do processo, refletindo, de forma clara, os avanços obtidos.

O Quadro 11 apresenta os principais indicadores monitorados, evidenciando os ganhos obtidos.

Além disso, o estabelecimento e a padronização dos fluxos contribuíram para dar maior consistência aos resultados, como se as melhorias deixassem de depender de esforços pontuais e passassem a se sustentar no próprio

funcionamento do processo. Essa padronização, por sua vez, atuou na redução de erros operacionais, assegurando que os ganhos em custo e qualidade não fossem apenas momentâneos, mas se mantivessem ao longo do tempo, consolidando, pouco a pouco, uma base mais estável para a melhoria contínua. De acordo com Pyzdek e Keller (2014), a fase de controle é essencial para que qualquer programa *Six Sigma* passe a ser parte da rotina operacional evitando a regressão aos níveis de desempenho baseado nos anos anteriores.

Quadro 11: Indicadores de Desempenho (KPIs) Monitorados na Fase de Controle.

Indicador	Descrição	Fonte de Dados	Resultado Antes	Resultado Depois	Variação
Custo por unidade (R\$)	Custo médio de produção por máquina de lavar	Relatórios financeiros (ERP/SAP)	850,00	785,00	-7,6%
Taxa de Retrabalho (%)	Peças reprocessadas	Relatórios de produção	6,5%	3,2%	-50,8%
Índice de Qualidade (IQ)	Desempenho do produto nos testes de qualidade	Sistema de controle de qualidade (QMS) / SAC	4,8	5,6	+16,6%
Eficiência Operacional (%)	Proporção entre tempo produtivo e tempo total disponível	Indicadores de manufatura (OEE)	83%	91%	+9,6%
Taxa de Retrabalho (%)	Peças reprocessadas	Relatórios de produção	6,5%	3,2%	-50,8%
Índice de Shortage (Ocorrências)	Falhas de abastecimento de componentes	Relatórios de suprimentos/ logística	12	4	-66,7%

Fonte: Elaborada pela própria autora.

Outro fator, é que a integração dos diferentes times da planta, como suprimentos, planejamento, logística, qualidade e manufatura, fortaleceu a cultura de responsabilidade compartilhada, criando um ambiente onde a melhoria da entidade como um objetivo coletivo da empresa. Segundo Liker (2005), em relação a produção enxuta, onde a padronização e a cooperação interdepartamental são pilares para a sustentabilidade das melhorias.

Dessa forma, essa fase consolidou a base necessária para que os projetos do futuro possam ser conduzidos de forma eficiente, mantendo a confiabilidade das informações e garantindo que os resultados obtidos se concretizem, criando um ciclo virtuoso de melhoria contínua. Slack et al. (2023) reforçam que empresas com rotinas sólidas de monitoramento tem maior capacidade de *benchmarking* interno e de perpetuar práticas de excelência. Nesse sentido, os mecanismos implementados garantiram não apenas o controle dos resultados obtidos, mas também a base para que a empresa avance em maturidade organizacional, mantendo um ciclo virtuoso de melhoria contínua.

5.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com essas novas condutas e metodologias propostas, foi possível observar uma grande eficiência para a redução de custos na planta, além do desenvolvimento de novos fornecedores, ampliando nosso mercado. Além disso, o uso dos fluxos de trabalho, a integração entre as equipes, as reuniões e análises de forma periódicas permitiram um controle mais preciso sobre os custos de produção.

Pode-se observar que os resultados obtidos foram expressivos, tendo uma economia média de R\$65 por unidade entre produtos de baixa e alta capacidade, atingindo cerca de 54% da meta estabelecida para redução de custo, além do aumento na meta de qualidade de 4,8% para 5,6%. Com esses valores, as metas estipuladas para a engenharia ficaram mais próximas, permitindo que áreas como suprimentos e manufatura pudessem contribuir para o objetivo global de forma mais eficiente.

O desenvolvimento de novos fornecedores, junto com uma integração mais próxima entre os times de engenharia, suprimentos, planejamento, manufatura e qualidade, acabou trazendo um ganho bem perceptível para a competitividade da

planta. Não foi algo isolado, pelo contrário, abriu caminho para que essas mesmas práticas pudessem, aos poucos, ser levadas também para outras unidades da empresa.

De certa forma, esse movimento mostra como o trabalho alinhado entre áreas faz diferença no dia a dia operacional. E isso conversa diretamente com os princípios da Engenharia de Produção, que, como destacam Slack et al. (2023), estão voltados justamente para otimizar processos, reduzir desperdícios e, no fim das contas, aumentar o valor entregue ao cliente.

Com a estrutura de abordagem definida, pudemos corrigir e avançar de forma mais eficiente com projetos que estavam em ciclos de falhas, o que garantiu uma melhora significativa na gestão de custos e melhoria na qualidade. Também, a participação da alta liderança da empresa em reuniões e análises periódicas, nos possibilitou identificar possíveis falhas futuras.

Aplicar fluxos padronizados, utilização de relatórios e fóruns frequentes de acompanhamento, garantiu a execução eficaz das iniciativas e a sustentabilidade dos ganhos.

Segundo George (2002), a melhoria contínua é um processo cumulativo, o qual deve ser estruturado para ser replicável, gerando amadurecimento técnico e operacional, além de resultados financeiros. Dessa forma, esse projeto tem demonstrado que, com a metodologia certa, é possível equilibrar eficiência, qualidade e competitividade, criando uma vantagem sustentável no mercado.

Por fim, pode-se concluir que a metodologia aplicada, além de nos proporcionar redução de custos, nos permitiu aumentar o índice de qualidade e também estruturar melhor nosso processo de melhoria contínua, as quais podem ser replicadas em outras unidades da empresa, trazendo competitividade a longo prazo.

Em resumo, a metodologia aplicada proporcionou resultados expressivos e alinhados aos objetivos estabelecidos durante o estudo. Foi possível verificar uma redução de custos consistente, devido a identificação e eliminação de desperdícios, da otimização de recursos disponíveis e da padronização das rotinas produtivas. Outra métrica que acabou se destacando ao longo do estudo foi o índice de qualidade. E, olhando com mais atenção, percebe-se um aumento bastante significativo o que, na prática, indica produtos mais confiáveis e uma redução consistente das não conformidades ao longo do processo. Em outras palavras, não

se trata apenas de números melhores, mas de um resultado que se reflete diretamente na percepção de qualidade.

O método implementado também trouxe uma organização maior para os processos de melhoria contínua. Aos poucos, essas práticas deixaram de ser algo pontual e passaram a fazer parte da rotina da operação, mostrando-se replicáveis e sustentáveis. Com isso, foi se construindo, quase que naturalmente, uma cultura mais voltada à eficiência e ao aprimoramento constante, algo que tende a se fortalecer com o tempo.

Além disso, houve um avanço importante na integração entre as áreas funcionais. Esse alinhamento mais próximo entre os times contribuiu para uma comunicação interna mais ágil e fluida, reduzindo ruídos e facilitando o andamento das atividades no dia a dia.

Como consequência, os ganhos obtidos passaram a aparecer de forma mais clara no aumento da competitividade e também na sustentabilidade organizacional ao longo do tempo. Aos poucos, a empresa vai se ajustando, ganhando mais consistência e se posicionando com mais segurança diante das mudanças constantes da indústria.

Diante desse cenário, é possível concluir que a implementação do ciclo DMAIC, base da metodologia *Six Sigma*, aliada às boas práticas de engenharia de produção, teve um papel realmente importante na otimização dos processos, na melhoria da qualidade e no fortalecimento do desempenho estratégico. No fim das contas, o que se constrói é uma base mais firme, que sustenta com mais tranquilidade os próximos passos e abre caminho para a continuidade das melhorias.

6 CONCLUSÃO

Portanto, com a aplicação da metodologia, foi possível obter redução significativa de custos produtivos, melhoria do desempenho e da qualidade do processo, além da otimização dos recursos, aumento da eficiência operacional e maior estabilidade dos processos. A aplicação do *Six Sigma* mostrou-se eficaz como ferramenta de melhoria contínua no ambiente industrial. Por fim, destaca-se a importância da melhoria contínua como parte da cultura organizacional, bem como a necessidade de integração entre áreas e utilização de dados para tomada de decisão, sendo que o método aplicado mostrou-se replicável e pode ser utilizado em outras linhas produtivas e contextos industriais.

REFERÊNCIA

- AFIFA, E. P. V.; DAMAYANTI, R. W. **Six Sigma Implementation on Wash Motor Twin Tub Washing Machine: A Case Study**. E3S Web of Conferences, 2023.
- ANTONY, J. **Six Sigma vs Lean: Some perspectives from leading academics and practitioners**. International Journal of Productivity and Performance Management, v. 60, n. 2, p. 185–190, 2011.
- BOOTHROYD, G.; DEWHURST, P.; KNIGHT, W. **Product Design for Manufacture and Assembly**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- BUER, S. V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. **The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda**. International Journal of Production Research, v. 56, n. 8, p. 2924–2940, 2018.
- CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**. 1. ed. Cengage Learning, 2010.
- DEMING, W. Edwards. **Qualidade: a Revolução da Administração**. Rio de Janeiro: Marques Saraiva, 1990.
- FURTERER, Sandra L. **Lean Six Sigma in Service: Applications and Case Studies**. CRC Press, 2009.
- GEORGE, M. L. **Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Production Speed**. New York: McGraw-Hill, 2002.
- GOVERNO FEDERAL. **Vendas de Eletroeletrônicos crescem 29% em 2024**. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2025/marco/vendas-de-eletroeletronicos-crescem-29-em-2024>. Acesso em: 05 jun. 2025.
- HINES, P.; HOLWEG, M.; RICH, N. **Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking**. International Journal of Operations & Production Management, v. 24, n. 10, p. 994–1011, 2004.
- HOERL, R.; SNEE, R. **Statistical Thinking: Improving Business Performance**. 2. ed. Hoboken: Wiley, 2010.
- HU, X.; ZHANG, W. **Consumer Preferences Toward Smart Home Appliances: A Review of Emerging Trends**. Journal of Cleaner Production, v. 259, p. 120-135, 2020.

- IMAI, M. **Gemba Kaizen: A Commonsense Approach to a Continuous Improvement Strategy**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2012.
- INMETRO. **Requisitos de desempenho e eficiência energética para máquinas de lavar roupas**. Brasília, 2022.
- JURAN, J. M. **Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services**. New York: Free Press, 1992.
- KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P. **Strategy Maps: Converting Intangible Assets into Tangible Outcomes**. Boston: Harvard Business School Press, 2004.
- LIKER, Jeffrey K. **O Modelo Toyota: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 9th ed. New York: John Wiley & Sons, 2019.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- NADERPAJOUH, N.; AHMAD, S.; ABDOULI, A.; LEE, T. **Trends in Sustainable Consumer Behavior and Eco-Efficient Home Appliances**. Sustainable Production and Consumption, v. 27, p. 150–164, 2021.
- NAKAJIMA, S. **Introduction to TPM: Total Productive Maintenance**. Cambridge: Productivity Press, 1988.
- PANDE, P. S.; NEUMAN, R. P.; CAVANAGH, R. R. **A Estratégia Seis Sigma: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- PYZDEK, T.; KELLER, P. **The Six Sigma Handbook: a complete guide for green belts, black belts, and managers at all levels**. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.
- SALACINSKI, T.; CHRZANOWSKI, J.; CHMIELEWSKI, T. **Statistical Process Control Using Control Charts with Variable Parameters**. Processes, 2023.
- SHAH, R.; WARD, P. T. **Lean manufacturing: Context, practice bundles, and performance**. Journal of Operations Management, v. 25, n. 4, p. 785–805, 2007.
- SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; BURGESS, N. **Administração da Produção**. 10. ed. GEN Atlas, 2023.
- STAMATIS, D. H. **Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from Theory to Execution**. ASQ Quality Press, 2.ed., 2003.

SYAMIL, A.; ICHSAN, M.; SYAHRAZLY, M.; FADJAR, M. P.; REVIDIA, I. R.

Enhancing Quality Across Industries: A Systematic Literature Review on the Impact of Six Sigma. ISSN 2384-1648, People & Global Business Association (P&GBA), Seoul, Vol. 28, Iss. 7, pp. 59-74. ECONSTOR, 2023.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos.** v.2. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995.

ZHUANG, J. et al. **Data-driven Six Sigma: integrating machine learning into quality improvement methodologies.** Quality and Reliability Engineering International, v. 37, n. 6, p. 2800–2816, 2021.

IMARC GROUP. **Tamanho, participação, tendências e previsão do mercado de eletrodomésticos no Brasil por produto, canal de distribuição e região 2026-2034.** Disponível em:

<https://www.imarcgroup.com/report/pt-br/brazil-home-appliances-market>. Acesso em: 20 abr. 2026.

ABUALSAUOD, E. H. **Integrating six sigma and lean management for enhanced quality management in industrial applications.** Journal of Engineering Research, 2025.

GOLOR, H. E.; FAWEDIKIMO, S. N.; ADEOYE, A. H.; DUHU, E. I.; DOSUNMU, O. F.; SHOBAJO, H. M. **Assessing the Impact of Lean Six Sigma Management on Organisational Productivity.** Path of Science, v. 11, n.6, 2025.

SANAKAL, A. P. **Artificial Intelligence and Machine Learning in Product Cost Planning for Manufacturing Industries.** International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, v. 6, 2024.

PRASOJO, R. W.; AMRULLAH, A. G.; WAHJUDI, D.; WINNYARTO, S. T.; MULTAZAM, M. R.; JONATHAN, L. **Lead Time and Cost Reduction in Reach Stacker Repair: A Lean Six Sigma Case Study.** Jurnal Teknik Mesin, v. 22, n.2, 2025.

CHANG, Yu Wei. **Analyzing the Impact of ERP and BI Integration on Business Performance: The Technology-Organization-Environment Framework and Balanced Scorecard Perspective.** Journal of Global Information Management, v. 33, 2025.

ALKARAAN, F.; ELMARZOUKY, M.; HUSSAINEY, K.; VENKATESH, V. G.

Sustainable strategic investment decision-making practices in UK companies: The influence of governance mechanisms on synergy between industry 4.0 and circular economy. Technological Forecasting & Social Change, 2023.

VIET, Q. N. K.; DUC, M. L. **Improvement Productivity and Quality by Using Lean Six Sigma: A Case Study in Mechanical Manufacturing.** Internacional Research Journal on Advanced Science Hub, v. 4, 2022.

MUTHUSWAMY, V. V.; DILIP, Dr. D. **Operational Communications Process and Performance: Role of Lean Six Sigma critical Success Factors.** Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications, v. 7, 2024.

MOJUMDER, M. U. **Impact of Lean Six Sigma On Manufacturing Efficiency Using a Digital Twin-Based Performance Evaluation Framework.** ASRC Procedia: Global Perspectives in Science and Scholarship, v.1, 2025.