

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA QUÍMICA**

THAÍS CRISTINA GUIMARÃES ALVES

**FERRAMENTAS DE QUALIDADE APLICADAS AO SETOR
INDUSTRIAL E DE SERVIÇOS: PROPOSTA METODOLÓGICA
BASEADA NA ESTRUTURA DMAIC DO *LEAN* SEIS SIGMA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2019

THAÍS CRISTINA GUIMARÃES ALVES

**FERRAMENTAS DE QUALIDADE APLICADAS AO SETOR
INDUSTRIAL E DE SERVIÇOS: PROPOSTA METODOLÓGICA
BASEADA NA ESTRUTURA DMAIC DO *LEAN* SEIS SIGMA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado(a) como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador(a): Prof(a). Dr(a). Daiane Maria de Genaro Chirolí

PONTA GROSSA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Departamento Acadêmico de Engenharia Química



TERMO DE APROVAÇÃO

FERRAMENTAS DE QUALIDADE APLICADAS AO SETOR INDUSTRIAL E DE SERVIÇOS: PROPOSTA METODOLÓGICA BASEADA NA ESTRUTURA DMAIC DO *LEAN SEIS SIGMA*

por

Thaís Cristina Guimarães Alves

Monografia apresentada no dia 27 de junho de 2019 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. César Arthur Martins Chornobai
(UTFPR)

Prof. Dr. Fabio Jose Ceron Branco
(UTFPR)

Profa. Dra. Daiane Maria de Genaro Chirolí
(UTFPR)
Orientador

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na
Coordenação do Curso de Engenharia Química - UTFPR – Câmpus Ponta Grossa.

Dedico este trabalho aos meus pais, meus
irmãos e minha avó por acreditarem em
mim e me apoiarem em todos os
momentos desta trajetória.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser terminado sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem. Certamente esses parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre estas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

A minha família, pelo carinho, incentivo e total apoio em todos os momentos da minha vida.

A meus amigos que tornaram o caminho doce e empolgante. Um agradecimento especial a minha amiga Fernanda que desde o primeiro dia foi minha força e minha família no Paraná.

Ao meu namorado dedicado, Jhonatan, que me deu muito apoio nesta fase final e me ajudou na conclusão.

Ao minha orientadora, que me mostrou os caminhos a serem seguidos e pela confiança depositada.

A Viviane pelos direcionamentos na execução deste trabalho e Wesley pelo apoio na hora que mais precisei.

Aos meus professores, que ajudaram de forma direta e indireta na conclusão deste trabalho.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

ALVES, Thaís Cristina Guimarães. . 2019. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

A utilização de estratégias para a qualidade é cada vez mais essencial para que os mais variados setores (industrial e de serviços) se mantenham competitivos no mercado. Uma destas estratégias é o *Lean Seis Sigma* que é uma metodologia orientada pelas expectativas e necessidades dos clientes na busca de excelência (3,4 DPMO). Assim, este trabalho teve como objetivo desenvolver uma proposta metodológica baseada no DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) do *Lean Seis Sigma* para aplicação principalmente nos setores secundário e terciário. A proposta metodológica apresentada fornece uma sequência de raciocínio de aplicação das ferramentas do *Lean Seis Sigma* auxilia na identificação de anomalias e melhoria do processo.

Palavras-chave: Lean Seis Sigma. Ferramentas da qualidade. DMAIC. Setor Industrial. Setor de Serviços.

ABSTRACT

ALVES, Thaís Cristina Guimarães. **Quality tools applied to industrial and service sector: methodological proposal based on DMAIC structure of Lean Six Sigma.** 2019. 69 p. Final Coursework (Bachelor's degree in Chemical Engineering) – Federal University of Technology – Paraná. Ponta Grossa, 2019.

The use of strategies for quality is becoming more essential each day for the most varied sectors (industrial and services) to remain competitive in the market. One of these strategies is Lean Six Sigma which is a methodology driven by customer expectations and needs in the pursuit of excellence (3.4 DPMO). Thus, this work aimed to develop a methodological proposal based on DMAIC ((Define, Measure, Analyze, Improve and Control) of Lean Six Sigma for application mainly in the secondary and tertiary sectors. The proposed methodological proposal provides a sequence of application of Lean Six Sigma tools to assist in the identification of process anomalies and improvement.

Keywords: Lean Six Sigma. Quality Tools. DMAIC. Industrial Sector. Service Sector.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Os 7 desperdícios.	18
Figura 2 – Comparação entre níveis de conformidade de Quatro Sigma e Seis Sigma	25
Figura 3 – Usando o DMAIC em projetos <i>Lean Seis Sigma</i>	27
Figura 4 – O processo de melhoria com Seis Sigma.	28
Figura 5 – Modelo de implementação do DMAIC para projetos <i>Green Belts</i> . . .	29
Figura 6 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Definir.	38
Figura 7 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Medir.	39
Figura 8 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Analisar. . . .	40
Figura 9 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Melhorar. . . .	40
Figura 10 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Controlar. . .	41
Figura 11 – Exemplo de um Contrato Projeto (<i>Project Charter</i>).	44
Figura 12 – SIPOC: Mapeamento do processo de uma indústria de fixação. . . .	45
Figura 13 – SIPOC: Mapeamento do processo de venda de um produto X ao comércio.	46
Figura 14 – SIPOC: Mapeamento do processo de uma unidade de atendimento a saúde.	46
Figura 15 – Exemplo do uso da ferramenta VOC em um processo de venda de uma peça ao comércio.	47
Figura 16 – Exemplo do uso da ferramenta VOC para determinação dos CTQ's para usuários do transporte rodoviário dos Campos Gerais.	48
Figura 17 – Relação entre fornecedores e clientes dentro de uma organização .	49
Figura 18 – Folha de Verificação por localização de defeitos de laminação de um indústria de fabricação de tênis.	53
Figura 19 – Exemplo de um mapa mental gerado por meio de sessões de <i>brainstorming</i> em uma indústria de beneficiamento de grãos.	54
Figura 20 – Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito) para os escapes de defeitos pela equipe da qualidade.	55
Figura 21 – Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito) para os falhas em motores elétricos de locomotiva.	55
Figura 22 – Melhorias: Utilização de placas de controle para fluxo e segurança.	59
Figura 23 – Melhorias: Orientação para retocadores e inspetores de qualidade.	60
Figura 24 – Resumo das ferramentas sugeridas para aplicação em cada etapa do DMAIC do <i>Lean Seis Sigma</i>	61
Fotografia 1 – Melhorias: resultado da aplicação do 5S.	57
Fotografia 2 – Melhorias: gestão visual através da aplicação do 5S na área de manutenção automotiva.	57
Fotografia 3 – Melhorias: Proteção dos equipamentos e parafusadeiras.	58
Gráfico 1 – Exemplo 1: Taxa de recusa da peça Y por mês.	43
Gráfico 2 – Gráfico de Pareto 1: Estratificação das recusas por famílias de defeitos.	51
Gráfico 3 – Gráfico de Pareto 2: Estratificação das degradações por turno de fabricação.	51
Gráfico 4 – Gráfico de Pareto 3 : Estratificação das degradações por tipo de peça.	51

Gráfico 5 – Gráfico de Pareto 4: Estratificação das recusas de degradações da peça 1 baseado na classificação MR e EQ	52
Gráfico 6 – Gráfico de Pareto 5: Estratificação dos defeitos de degradação pelas regiões da peça 1	52
Gráfico 7 – Evolução da taxa de recusa de uma peça Y por mês.	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação entre sistemas de produção.	16
Tabela 2 – Regras de utilização: <i>Kanban</i>	23
Tabela 3 – Comparação dos níveis de qualidade e seus custos de não qualidade associados.	26
Tabela 4 – Ferramentas <i>Lean</i> Seis Sigma - Etapa Analisar	33
Tabela 5 – Ferramentas utilizadas na aplicação <i>Lean</i> Seis Sigma: estudos anteriores.	36
Tabela 6 – Tabela de conversão DPMO para Sigma.	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	PROBLEMA	11
1.2	OBJETIVO GERAL	11
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
1.4	JUSTIFICATIVA	12
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	<i>LEAN MANUFACTURING</i>	14
2.1.1	Os 7 desperdícios	17
2.1.2	Ferramentas estratégicas na aplicação do <i>Lean Manufacturing</i>	19
2.2	SEIS SIGMA	23
2.3	<i>LEAN SEIS SIGMA</i>	26
2.4	A ESTRUTURA DO DMAIC	27
2.4.1	A associação das ferramentas da qualidade e Seis Sigma na estrutura do DMAIC	28
2.5	ESTUDOS CORRELATOS	34
3	METODOLOGIA	37
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	37
3.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	37
4	RESULTADO	42
4.1	ETAPA DEFINIR (<i>Define</i>)	42
4.2	ETAPA MEDIR (<i>Measure</i>)	49
4.3	ETAPA ANALISAR (<i>Analyse</i>)	53
4.4	ETAPA MELHORAR (<i>Improve</i>)	56
4.5	ETAPA CONTROLAR (CONTROL)	61
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	63
	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas sete décadas, muito foi desenvolvido a respeito da importância da qualidade nas indústrias. Ainda na década de 80, através da experiência no mercado, alguns profissionais acreditavam que a produção em grande escala e a baixo custo era o segredo para o sucesso dos negócios. No entanto, o crescimento acelerado das indústrias japonesas no mercado norte-americano, fez com que muitas empresas avaliassem a importância de considerar novas estratégias competitivas (GARVIN, 1984).

Em um mercado que se torna cada dia mais arriscado, as estratégias para se manter competitivo não podem mais serem apenas uma teoria, devem ser aplicadas em todas as atividades das empresas (WINKLEMAN, 1993). Para W. Edwards Deming, entrevistado por Winkleman (1993), o que fez as indústrias japonesas terem tanto sucesso nos anos 50/60 foi o questionamento sobre quais eram as necessidades dos clientes na época, eles utilizaram ferramentas para darem direcionamento estratégico nos negócios, de maneira a entender o que era qualidade e valor para os clientes e assim ganharem o mercado.

Hoje em dia, estratégias de qualidade como *Total Quality Management* (TQM) e o Seis Sigma são bem difundidas. O TQM pode ser visto como filosofia de gerenciamento para a melhoria contínua da qualidade de produtos e processos, que envolve a participação de todos que desenvolvem e ou usam os produtos e serviços. No TQM, os gestores, a mão de obra, os fornecedores e os consumidores são envolvidos de maneira a desenvolver a qualidade para que superem as expectativas dos clientes (AIZED, 2012).

Já o Seis Sigma é uma estratégia baseada na identificação e redução de variações nos produtos, processos e serviços, de maneira a atender um objetivo de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades que corresponde a 99,99966% de produtos sem defeitos. O Seis Sigma aplicado utilizando conceitos dos *Lean Manufacturing*, é conhecido por *Lean Seis Sigma*. O Seis Sigma e o *Lean Seis Sigma* são utilizados por empresas como a Motorola e General Electric e tem demonstrado grandes resultados em sua aplicação (WERKEMA, 2013).

Sabendo da crescente competitividade nos setores secundários e terciários e

da importância da qualidade como estratégia para se manter no mercado, este trabalho buscou apresentar como ferramentas da qualidade e do *Lean Seis Sigma* podem ser utilizadas para a melhoria dos resultados em indústrias do setor industrial e de serviços.

Desta maneira, este trabalho teve por objetivo geral propor uma metodologia para a melhoria de indicadores de atividades dos setores industrial e de serviços, principalmente indicadores de recusa de peças não conformes, baseado na estrutura DMAIC do *Lean Seis Sigma*.

1.1 PROBLEMA

Como as ferramentas da qualidade e do *Lean Seis Sigma* podem ser utilizadas para melhorar os indicadores de qualidade de indústrias de fabricação, processo e de serviços?

1.2 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo desenvolver um procedimento metodológico para utilização de ferramentas da qualidade baseado no DMAIC da metodologia *Lean Seis Sigma*.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A fim de alcançar o objetivo geral estabelecido, alguns objetivos específicos foram traçados:

- Esquematizar uma sequência de raciocínio para melhoria de indicadores;
- Criar uma metodologia passível de ser aplicada em diversas áreas (industrial e serviços);
- Sugerir ferramentas para melhoria de indicadores nos setores industrial e de serviços;
- Indicar métodos para reatividade de equipes de áreas de qualidade e retoque;
- Utilizar exemplos da aplicação das ferramentas propostas.

1.4 JUSTIFICATIVA

Muitas indústrias de fabricação, processos e de serviços que desejam realizar melhorias e implementar o *Lean Seis Sigma* encontram dificuldades, e isso ocorre desde quando a metodologia surgiu na Motorola. Para Gijo e Rao (2005), o fracasso da implementação efetiva da metodologia em algumas indústrias se deve principalmente a alguns fatores, como: a inexistência de um objetivo constante (falta de previsibilidade das necessidades futuras dos clientes), implementação de várias metodologias de qualidade (Kaizen, TQM, ISO 9000, QS 9000 e Seis Sigma), critérios de seleção de projetos inadequados, necessidade de resultados imediatos e a falta de recursos financeiros e pessoas capacitadas (*Black Belts* e *Green Belts*).

Este último oferece uma barreira à aplicação de projetos baseados na metodologia por não haver a disseminação das boas práticas, da mesma maneira como outras metodologias. A aplicação limita-se aos profissionais que tenham realizado cursos em instituições particulares para obtenção destes certificados (*Black Belts* e *Green Belts*).

Além disso, a implementação do *Lean Seis Sigma* é voltada a aplicações quantitativas buscando a análise estatística de dados para redução da variação (WERKEMA, 2013). No entanto, quando se trabalha com gerenciamento da qualidade de produtos ou processos, principalmente aqueles processos em que se aplicam inspeções de qualidade, pode ser necessário a utilização de dados de atributos, trabalhando com características associadas a qualidade ou não qualidade. Exemplo da aplicação de dados de atributos é a presença ou não de algum defeito, sem que seja obrigatoriamente necessário a mensuração por meios estatísticos deste defeito (FERNANDES, 2011).

Pensando nisso, este trabalho visa o desenvolvimento de um procedimento básico para a aplicação das ferramentas da metodologia *Lean Seis Sigma* para melhoria de indicadores nos setores industrial e de serviço, de maneira que atenda não somente aplicações quantitativas mas que englobe aplicações qualitativas de análise de dados de atributos e indique ferramentas para reatividade entre os departamentos quanto as anomalias do processo ou produto.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em 5 capítulos. No primeiro é apresentada uma introdução a respeito do tema escolhido, os objetivos geral e específicos e a justificativa da escolha do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a revisão de literatura, em que são abordados as metodologias *Lean Manufacturing* e Seis Sigma, bem como a metodologia *Lean Seis Sigma*, que é uma associação das duas primeiras. De maneira a contribuir com os objetivos do trabalho, as principais ferramentas destes métodos foram expostas em associação a estrutura DMAIC do Seis Sigma.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia utilizada na execução deste trabalho e sua classificação quanto a natureza da pesquisa, objetivos e método.

O procedimento metodológico proposto é descrito no capítulo 4, em que são levantadas as principais ferramentas da qualidade a serem utilizadas para alcance de resultado dentro dos setores industrial e de serviços, buscando no escopo deste trabalho atingir os objetivos determinados no capítulo 1.

O capítulo 5 finaliza o trabalho, mostrando as principais conclusões obtidas após a conclusão do trabalho e propostas de trabalhos futuros.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados conceitos e metodologias que são fundamentais para compreensão do desenvolvimento do trabalho. Inicia-se com uma breve explicação do sistema *Lean Manufacturing* e as principais ferramentas utilizadas, seguido da apresentação do Seis Sigma e o *Lean Seis Sigma*. A partir disso, é retratado a estrutura da DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*) e como as ferramentas do *Lean Seis Sigma* estão associadas em cada uma de suas etapas.

2.1 LEAN MANUFACTURING

O *Lean Manufacturing*, conhecido no português por Produção Enxuta, é uma metodologia de produção bastante difundida principalmente em indústrias manufatureiras, empresas de serviço, assistência de saúde e algumas entidades públicas (SAYER; WILLIAMS, 2012). O *Lean Manufacturing* tem origem na empresa japonesa *Toyota Motor*, conhecido inicialmente por Sistema *Toyota* de Produção, recebeu a denominação *Lean* pelo pesquisador do *International Motor Vehicle Program* (IMVP), John Krafcik na década de 1980 e é utilizado atualmente pelas empresas como estratégia de desenvolvimento e crescimento dos negócios (SAYER; WILLIAMS, 2012; WOMACK; JONES, 1992; MELTON, 2005; MOTWANI, 2003).

Na década de 80, O *Lean Manufacturing* foi para a indústria automotiva uma grande revolução como havia sido a apresentação do sistema de produção em massa de Henry Ford 1908. O *Lean Manufacturing* transformou o mercado das indústrias de larga produção, uma vez que em meio as dificuldades econômicas e culturais enfrentadas pelas empresas japonesas, estas tiveram que repensar a maneira como eram produzidos veículos na época. O conceito deste sistema de produção é a produção da mesma quantidade de peças utilizando metade do investimento em ferramentas, metade das horas de fabricação e planejamento, metade do esforço físico dos operadores na produção, metade do espaço físico necessário e metade do estoques nos locais de fabricação (WOMACK; JONES, 1992).

Segundo Womack e Jones (1992) a produção em massa desenvolvida na *Ford* proporcionou em 1908 um enorme ganho de produtividade nas linhas de montagem.

O conceito implantado por Henry Ford buscava a intercambiabilidade das peças, facilitando as operações e o encaixe de cada componente. Os operadores envolvidos no processo de montagem eram responsáveis pela execução de etapas simples como o parafusamento de duas porcas e por isso não era necessário uma mão de obra com grandes qualificações. O operador estava ali apenas para cumprir o especificado em atividades monótonas e muitas vezes cansativas. O sistema de produção em massa levou as indústrias da América do Norte a uma grande ascensão, atingindo em 1955 a marca de mais de 7 milhões de automóveis vendidos.

No entanto, a crise do petróleo na década de 70 afetou fortemente o mercado, principalmente o mercado dos Estados Unidos, o que estagnou o crescimento e desenvolvimento das indústrias de produção em massa. Mesmo em meio à esta situação de crise, muitas indústrias japonesas, principalmente a *Toyota*, mantiveram seu crescimento e resultados positivos, chamando a atenção de empresas do mundo todo. E o que distinguia o modelo utilizado na *Toyota* era a forma de tratamento dos desperdícios em todas as vertentes da indústria (projeto, processo, liderança e produção) (RODRIGUES, 2015b; OHNO, 1997).

O livro *The machine that changed the World* escrito por Womack e Jones (1992) foi o primeiro livro sobre o assunto e comparava as principais diferenças entre o Sistema de Produção em Massa da *Ford* e o Sistema de Produção Enxuta da *Toyota*. A Tabela 1 apresentada por Melton (2005) mostra as principais diferenças entre os dois sistemas em pontos específicos, como a filosofia da empresa, tipos de trabalhadores e objetivo principal de acordo com o livro de Womack e Jones (1992).

O Sistema *Toyota* de Produção (STP) foi desenvolvido pelo executivo Taiichi Ohno, que buscava um sistema de produção focado na identificação e eliminação de qualquer desperdício que geravam custos desnecessários de produção, má qualidade e demora na entrega dos produtos aos clientes (WERKEMA, 2011; OHNO, 1997). De acordo com Motwani (2003), o *Lean Manufacturing* é um método economicamente interessante pois tem como principal objetivo a redução de custos e melhoria da produtividade. No entanto, envolve mudanças drásticas no processo, de maneira a produzir certo na primeira vez, por meio da aplicação de atividades de melhoria contínua para qualidade, produtos e processos.

Tabela 1 – Comparação entre sistemas de produção.

	Produção em massa	Produção Enxuta
Base	• Henry Ford	• Toyota
Pessoas - design	• Profissionais especializados	• Times com trabalhadores polivalentes em todos os níveis
Pessoas - produção	• Operadores não qualificados ou semi qualificados	• Times com trabalhadores polivalentes em todos os níveis
Equipamentos	• Máquinas caras e com um único propósito	• Sistemas manuais e automatizados que conseguem produzir em larga escala com uma gama extensa de produtos
Métodos de produção	• Produção de altos volumes e produtos padronizados	• Produzir o que o cliente deseja
Filosofia organizacional	• Hierarquia - Responsabilidade da gerência	• Fluxos de valor usando o empoderamento ao nível apropriado - Empurrando a responsabilidade aos níveis inferiores da organização.
Filosofia	• Objetiva o "Bom o suficiente"	• Objetiva a perfeição

Fonte: Melton (2005)

A aplicação efetiva da metodologia *Lean* nas organizações de produção em larga escala atuais é possível e se torna essencial. É necessário rever hábitos e ferramentas em todos os níveis da empresa, adaptando o pensamento já estabelecido para um Pensamento Enxuto ou *Lean Thinking*. O *Lean Thinking* engloba desde os papéis, funções e carreiras de cada um até o fluxo de valor do produto da fábrica ao cliente. É uma maneira de se analisar quais são as melhores sequências para a execução de uma atividade de modo a obter um resultado ainda mais efetivo e performante (WOMACK; JONES, 1997).

A determinação do que realmente é valor para uma companhia é o primeiro passo na mudança (MELTON, 2005). Basicamente, o valor de um produto são as características do produto que atendem as especificações e necessidades dos clientes. Após entendido o que é valor, deve-se analisar o fluxo de valor do produto desde fornecimento de materiais até os clientes. O que vai permitir entender dentro do processo quais são as etapas de produção essenciais (Valor Agregado (VA)) e quais são as etapas que não agregam nenhum valor (NVA) e podem ser eliminadas (WOMACK; JONES, 1997).

Segundo Ohno (1997), este método de redução de desperdícios desenvolvido

pela *Toyota* é baseado em dois pilares principais:

1- *Just In Time*: Produzir a quantidade exata, no tempo exato e no local exato;

2- *Jidoka*: Sistemas automatizados que conferem autonomia dos colaboradores e controle em tempo real dos equipamentos.

Assim, percebe-se que a aplicação do *Lean Manufacturing* objetiva a transformação da produção por meio da aplicação de diversos conceitos e ferramentas para a evolução das estratégias de fabricação, por meio da busca pela perfeição na qualidade e produção, redução de custos e melhoria contínua (WOMACK; JONES, 1997; MELTON, 2005; RODRIGUES, 2015b).

2.1.1 Os 7 desperdícios

Um conceito interessante trazido pelo japonês em conjunto ao *Lean Manufacturing* e o *Lean Thinking* é o conceito de *Muda*, que no japonês significa desperdícios, ou qualquer atividade que não agregue valor ao cliente ou NVA (Não Valor Agregado). Segundo Ohno (1997) e Shingo (1996), para a otimização efetiva de um processo, é necessário que haja zero desperdícios e que 100% capacidade produtiva da mão de obra esteja sendo utilizada. Para tanto, a capacidade de produção atual de uma linha seria dada pela equação Equação 1, ou seja, considera-se trabalho como somente aquele que é necessário para a produção/fabricação e tudo além disso são considerados desperdícios.

$$\text{Capacidade atual} = \text{Desperdício} + \text{Trabalho} \quad (1)$$

Além disso, Ohno (1997) identificou 7 tipos de desperdícios principais em uma linha de produção, mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Os 7 desperdícios.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Os desperdícios de transporte são aqueles associados à movimentação de produtos entre operações devido a *layouts* mal projetados. Espaço físico mal utilizado, equipamentos e máquinas mal distribuídos geram movimentação de materiais e fluxos desnecessários. Além disso, a movimentação em excesso gera potenciais de geração de degradações e defeitos, aumentando ainda mais os custos de produção. O que leva ao próximo tipo de desperdício, defeitos. Defeitos é a produção de itens fora do padrão ou fora do que é pré estabelecido. Este tipo de desperdício causa custos elevados de retrabalho e refugos para as empresas (RODRIGUES, 2015b; SAYER; WILLIAMS, 2012; WILSON, 2010).

Os desperdícios de estoque, são os tipos de NVA's que mesmo que necessário em alguns momentos, devem ser evitados. Estoques são recursos que estão parados não agregando valor financeiro para a companhia (MELTON, 2005). Geram custos de armazenamento e manutenção, criam potenciais para geração de degradação das peças estocadas e utilizam espaços que poderiam estar sendo utilizados para outros tipos de operações (RODRIGUES, 2015b; SAYER; WILLIAMS, 2012; WILSON, 2010).

Outra forma de desperdício está associado ao processamento ou processa-

mento em excesso, que são aqueles desperdícios relacionados à atividades desnecessárias que não estão agregando valor ao produto (NVA), equipamentos e mão de obra mal utilizados no processo e especificações desnecessárias, que são aquelas que vão além do desejado pelos clientes (RODRIGUES, 2015b; SAYER; WILLIAMS, 2012; WILSON, 2010). Todas as atividades citadas geram custos e a energia utilizada em tais operações poderiam ser aplicadas em outras atividades, o que levaria a aumentar a capacidade produtiva, como mostrado na Equação 1.

A movimentação dos colaboradores dentro de seus postos de trabalho, sejam estas para alcançar ferramentas e equipamentos, quando não agregam valor ao produto são considerados desperdícios de movimentação. Este tipo de desperdício tem relação com a disposição física (*design*) das peças, ferramentas e maquinário nas estações de trabalho. Além disso, toda espera dos colaboradores, por qualquer que sejam as razões, são desperdícios. A espera geralmente é causada por desabastecimento, fluxos desbalanceados, espera por peças, espera por instruções, dentre outras razões, mesmo que por pequenos períodos são desperdícios e geram custos de produção (RODRIGUES, 2015b; SAYER; WILLIAMS, 2012; WILSON, 2010).

Para Wilson (2010) o último tipo de desperdício é o mais agravante dentre todos. A superprodução é gerada pela produção de produtos em excesso, além do necessário. O que faz a superprodução ser o mais crítico de todos os outros seis tipos de desperdícios é que ela potencializa todos os outros, ou seja, leva a geração de estoques, transportes e movimentações inúteis, má utilização da mão de obra e equipamentos, dentre outros.

2.1.2 Ferramentas estratégicas na aplicação do *Lean Manufacturing*

Womack e Jones (1992) em seu estudo entre as diferenças entre indústrias japonesas com as demais, cujo foco principal era o método produtivo da *Toyota*, identificou duas características na gestão que destacaram ser essenciais para uma indústria verdadeiramente *Lean*.

Transfere o máximo de tarefas e responsabilidades para os trabalhadores que realmente agregam valor ao carro, e possui um sistema de detecção de defeitos que rapidamente relaciona cada problema, uma vez descoberto, a sua derradeira causa (WOMACK; JONES, 1992)

Colocando em prática este conceito, na aplicação do *Lean Manufacturing* é

utilizado uma ferramenta conhecida por *Andons* que dispõe as informações sobre o processo produtivo como produção diária, número de defeitos, número de panes e metas em quadros visíveis para todos os colaboradores. Assim quando ocorre algum problema, todos da fábrica sabem que está acontecendo e podem se dispor a ajudar (WOMACK; JONES, 1992). Os *Andons* ainda podem incluir gráficos, cores diferenciadas e até mesmo sinais sonoros para facilitar a identificação das anomalias (SAYER; WILLIAMS, 2012).

Quanto as tratativas relacionadas a qualidade e solução de problemas é utilizado uma ferramenta conhecida por 5 Porquês que foi desenvolvida pelos próprios executivos da *Toyota*. A ferramenta consiste em perguntar "Por que" 5 vezes quando deparado com um problema. O objetivo dos 5 Porquês é uma investigação aprofundada do problema de maneira que através da sequência de perguntas (Por que) se chegue à causa raiz originária do problema (OHNO, 1997; WOMACK; JONES, 1992).

Outra característica do *Lean Manufacturing* é a aplicação do conceito de *Jidoka*, que significa "Automação com toque humano" como dito por Ohno (1997), que em outras palavras seria, a transferência da autonomia do processo para o operador na linha de produção. Na automação, as máquinas são capazes de identificar quando há algum problema para uma solução imediata da anomalia. Em linhas de produção, os operadores ao detectarem uma irregularidade têm a autonomia de pararem a produção para resolverem os problemas (OHNO, 1997; RODRIGUES, 2015b; WILSON, 2010). O conceito do *Jidoka* torna evidente uma característica dos sistemas de produção enxutos, que é presença de colaboradores qualificados que atuam de maneira preditiva e corretiva na produção (WOMACK; JONES, 1992).

Outra ferramenta utilizada é o 5S, que auxilia na melhoria de performance e qualidade. O 5S é utilizado na otimização dos espaços, organização de ferramentas, gestão visual, descarte de materiais desnecessários e padronização do local de trabalho (RODRIGUES, 2015b). O 5S fornece apoio para a implementação bem sucedida de quase todas as outras ferramentas, promovendo um ambiente suscetível tanto na parte estrutural quanto na parte comportamental. O 5S não deve ser tratado como uma ferramenta de embelezamento das áreas de trabalho e sim como uma ferramenta para tratar os problemas relacionados desperdício de tempos e recursos (RIBEIRO, 1994; SAYER; WILLIAMS, 2012; RODRIGUES, 2015b; WILSON, 2010).

O 5S é de origem japonesa e significa:

- *Seire*: Senso de utilização: separar do que é necessário daquilo que está em excesso e em desperdício;
- *Seiton*: Senso de organização: ordenar ferramentas e equipamentos para facilitar o acesso durante a execução das atividades;
- *Seiso*: Senso de limpeza: deixar sempre limpo os locais de trabalho, de maneira que a presença de sujeira possa indicar alguma quebra de equipamento, vazamento de óleo, etc.
- *Seiketsu*: Senso de padronização: padronizar bons hábitos, mantendo a aplicação dos outros sentidos e o ambiente higienizado;
- *Shitsuke*: Senso de disciplina: agir em prol da melhoria contínua por meio de uma cultura de conscientização e disciplina. Manutenção de todos os quatro sentidos anteriores.

Para minimizar os desperdícios relacionados aos equipamentos, no *Lean Manufacturing* existe uma ferramenta conhecida por TRF (Troca Rápida de Ferramenta) que consiste em um método cujo objetivo é a redução do tempo de *setup* das máquinas, ou seja, o tempo que os equipamentos ficam parados para trocas de ferramentas para iniciar a produção de uma nova peça. Para a aplicação da TRF, primeiramente é analisado todo o processo, lista de etapas, materiais, tempo para a troca de uma ferramenta por outra. Em seguida, estas atividades são separadas em atividades externas (executadas com a máquina parada) e internas (executadas com a máquina em funcionamento). São criados procedimentos padrões para as atividades externas e internas. As atividades internas passam por processos de otimização e padronização de maneira a reduzir cada vez mais os desperdícios. E de maneira a melhorar continuamente o tempo de troca de ferramentas, constantemente são analisados a performance das atividades de *setup* (RODRIGUES, 2015b; SAYER; WILLIAMS, 2012; WILSON, 2010).

Além da TRF, o *Lean Manufacturing* ainda utiliza do conceito da TPM (*Total Productive Maintenance*) inserindo os operadores na execução das atividades, otimizando tempos e melhorando o gerenciamento dos meios de produção. Inicialmente o objetivo do TPM era o tratamento das perdas relacionadas a quebras dos equipamen-

tos, porém com o passar dos anos foram adicionadas outras perdas em seu escopo, que podem ser (RODRIGUES, 2015b; SAYER; WILLIAMS, 2012; WILSON, 2010):

- Relacionadas aos equipamentos: troca de ferramentas, falhas no processo, espera, velocidade e rendimento dos equipamentos, mudança de dispositivos de controle, retrabalho;
- Relacionadas aos colaboradores: administração, mobilidade operacional, organização da linha, logística, medição;
- Relacionadas aos recursos: energia, material e ferramentas.

Além disso, uma das ferramentas que são essenciais para a aplicação do *Lean Manufacturing* e o *Just In Time* é o *Kanban*, que consiste em um sistema que orienta a produção de acordo com as necessidades dos clientes (RODRIGUES, 2015b). O *Kanban* foi criado por Taichii Ohno e surgiu da observação do funcionamento de um supermercado americano. Os *Kanbans* são, nada mais nada menos, que instruções que comunicam aos postos de trabalho as informações necessárias para a produção e é a ferramenta que permite a execução do *Just In Time* (OHNO, 1997).

A Tabela 2 mostra as principais funções do uso dos *Kanbans*, assim como as principais regras de sua utilização. Para o funcionamento desta ferramenta é importante que sua aplicação seja feita de maneira disciplinada e rigorosa para que, com o tempo, o auxilie na identificação de desperdícios, levando a melhoria contínua dos processos (OHNO, 1997).

Tabela 2 – Regras de utilização: *Kanban*

Funções do <i>Kanban</i>	Regras de utilização
1 - Fornecer informação sobre apanhar ou transportar:	1- O processo subsequente apanha o número de itens indicados pelo <i>kanban</i> no processo precedente;
2- Fornecer informação sobre a produção:	2- O processo inicial produz itens na quantidade e seqência indicadas pelo <i>kanban</i> ;
3- Impedir a superprodução e transporte excessivo:	3- Nenhum item é produzido ou transportado sem um <i>kanban</i> ;
4- Servir como uma ordem de fabricação afixada às mercadorias:	4- Serve para afixar um <i>kanban</i> às mercadorias;
5- Impedir produtos defeituosos pela identificação do processo que os produz:	5- Produtos defeituosos não são enviados para o processo seguinte. O resultado é mercadorias 100% livres de defeitos;
6- Revelar problemas existentes e manter o controle dos estoques:	6- Reduzir o número de <i>kanbans</i> aumenta sua sensibilidade aos problemas.

Fonte: Ohno (1997)

Além das ferramentas citadas, existem várias outras que podem ser aplicadas na implementação e continuidade do *Lean Manufacturing* e que poderão auxiliar a entender as necessidades do consumidor, as atividades que agregam valor, o fluxo, como trabalhar de maneira puxada, como atingir perfeição e como desenvolver liderança. Exemplos destas ferramentas são: modelo de Kano, *benchmarking*, mapa de fluxo de valor, *time lead*, 5W1H (*What, when, why, where, who e how*), diagrama de espacete, balanço de linha, *poka-yoke*, padronização, *kaizen*, dentre outras (SAYER; WILLIAMS, 2012)

2.2 SEIS SIGMA

Cada vez mais as corporações enfrentam desafios para obterem sucesso e assim também manterem o sucesso já obtido anteriormente em um mercado cada vez mais competitivo (GIJO; RAO, 2005). As necessidades e os gostos do consumidor bem como as tecnologias mudam a cada dia, cada vez de maneira mais rápida. Para isso, as empresas devem se adequar e buscar utilizar das estratégias que oferecem as melhores metodologias para a adequação ao cliente e gestão da qualidade. O Seis Sigma é uma destas estratégias, que oferece um sistema de liderança flexível para para otimização da performance dos negócios (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH,

2007).

Em um primeiro momento o Seis Sigma pode parecer muito com outras abordagens de gerenciamento da qualidade, no entanto a metodologia foi construída a partir das melhores práticas de gestão do século XX gerando uma nova maneira para a administração da qualidade no século XXI. A estratégia Seis Sigma não é mais uma teoria, é metodologia de ação com enormes ganhos comprovados por várias empresas como a *General Eletric, Motorola e AlliedSignal*, sendo divulgada em publicações internacionais da imprensa como o *Wall Street Journal e Bussiness Week* (PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2007; SCHROEDER et al., 2008; GORDON, 2002; FOLARON, 2003; WERKEMA, 2013; DAFT; MURPHY; WILLMOTT, 2010), (ANTONY; BANUELAS, 2002).

A definição do Seis Sigma ainda gera algumas divergências, porém é muito mais que somente a soma dos conceitos de um programa de melhoria de processos e de redução de defeitos. Para Schroeder et al. (2008), o Seis Sigma pode ser definido como uma metodologia orientada aos clientes que utiliza uma estrutura que atua paralelamente as atividades da empresa mas que integra todos os níveis operacionais e administrativos. A metodologia busca a redução da variação dentro dos processos da organização através de projetos que são conduzidos por especialistas treinados voltados para melhoria, *Black Belts* e *Green Belts* (ANTONY; BANUELAS, 2002; JESUS et al., 2015).

O Seis Sigma é, portanto, um programa que procura melhorar a satisfação dos clientes com relação a confiabilidade com os produtos e serviços o que pode levar diminuição dos riscos dos negócios, conseguindo atender não somente a satisfação dos clientes como também dos fornecedores de uma empresa. Não deve ser visto somente como um programa de melhoria da qualidade mas sim como uma iniciativa para o sucesso dos negócios (GORDON, 2002).

É uma abordagem quantitativa baseada em dados estatísticos que estabelece um alto padrão de qualidade com um objetivo audacioso de 3,4 defeitos por milhões de oportunidades para empresas com alta performance em qualidade (ANTONY; BANUELAS, 2002; JESUS et al., 2015; FIRKA, 2010). Contudo, a abordagem tem sido referida mais como uma busca contínua de melhoria de performance da qualidade e redução dos custos pelas corporações (DAFT; MURPHY; WILLMOTT, 2010).

O programa foi implantado originalmente na *Motorola* (BARNEY, 2002; FO-

LARON, 2003; GORDON, 2002) e foi introduzido em 1994 na *AlliedSignal* pelo CEO Larry Bossidy como uma iniciativa na busca por altos resultados, melhoria dos processos e qualidade, sendo evidenciada pela economia de cerca de 2 bilhões após a aplicação na organização que veio a se tornar a *Honeywell* posteriormente (GODFREY et al., 2002). Jesus et al. (2015) desenvolveram uma pesquisa com empresas brasileiras utilizando um questionário sobre a implementação, descobriram que grande parte destas indústrias só tiveram o Seis Sigma implementado em 2003, 10 anos após a implementação do TQM (*Total Quality Management*) e 7 anos após a implantação da certificação ISO9001 (JESUS et al., 2015).

A melhoria da qualidade através da metodologia Seis Sigma utiliza-se de uma estrutura organizada e quantitativa por meio da mensuração estatística do desempenho das características e processos críticos para qualidade em relação as suas especificações (FIRKA, 2010; GOH, 2010). Grande parte das empresas atualmente possuem padrão de qualidade Quatro Sigma ou 99,38% de conformidade, enquanto uma empresa Seis Sigma tem 99,99966% de conformidade (WERKEMA, 2013; ROTONDARO et al., 2002). Para ilustrar o que corresponde esta melhoria Werkema (2013) coloca de forma simples o que representa esta diferença entre Quatro e Seis Sigma conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Comparação entre níveis de conformidade de Quatro Sigma e Seis Sigma

QUATRO SIGMA (99,38% CONFORME)	SEIS SIGMA (99,99966% CONFORME)
Sete horas de falta de energia elétrica por mês	Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos
5000 operações cirúrgicas incorretas por semana	1,7 operação cirúrgia incorreta por semana
3000 cartas extraviadas para cada 300000 cartas postadas	Uma carta extraviada para cada 300000 cartas postas
Quinze minutos de fornecimento de água não potável por dia	Um minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses

Fonte: Werkema (2013)

Os projetos Seis Sigma são selecionados a partir de análises financeiras, para a escolha de projetos que estarão diretamente ligados com os objetivos estratégicos da organização e o esperado pelos clientes. É importante que o departamento de custos forneça os valores reais dos custos da qualidade para serem estimados os lucros que serão obtidos com os projetos (ROTONDARO et al., 2002). Para ilustrar, os custos da não qualidade em relação ao percentual do faturamento de empresas em relação aos níveis sigma são apresentados na Tabela 3. Nota-se que para empresas

Dois Sigma a mensuração do custo de qualidade nem se aplica por ser tão alto que inviabiliza uma empresa como esta.

Tabela 3 – Comparação dos níveis de qualidade e seus custos de não qualidade associados.

Nível de qualidade	Defeitos por milhão	Custo da não qualidade
Dois Sigma	308.537	Não se aplica
Três Sigma	66.807	25 a 40%
Cinco Sigma	233	5 a 15%
Seis Sigma	3,4	<1%

Fonte: Werkema (2013)

A aplicação do Seis Sigma se dá através da utilização de uma estrutura conhecida por DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*), bastante parecida com o PDCA (*Plan, Do, Control e Act*) de Deming para a identificação dos principais problemas, suas causas raízes e soluções (DAFT; MURPHY; WILLMOTT, 2010). Entretanto a principal diferença entre o proposto pelo Seis Sigma e abordagens anteriores está mais na maneira da organização da implementação do que da filosofia e ferramentas utilizadas (SCHROEDER et al., 2008). A metodologia é muito mais que somente a medida da situação atual do sistema e o estabelecimento de controles, o Seis Sigma prevê o uso de praticamente todas os métodos e ferramentas de controle da qualidade tanto para melhoria dos processos e defeitos existentes quanto na prevenção de problemas futuros (GORDON, 2002).

2.3 LEAN SEIS SIGMA

O *Lean Seis Sigma* é a combinação das duas técnicas mais importantes para melhoria contínua de processos e produtos: *Lean Manufacturing* e Seis Sigma, que fornece às empresas ferramentas para se manterem competitivas no mercado, otimizando tempo e dinheiro, tanto na diminuição de perdas quanto na redução da produção de defeitos. As técnicas do Seis Sigma ajudam a melhorar o desempenho da qualidade e as técnicas *Lean* em alcançar "*World Class Performance*" ou Performance Classe Mundial (TAGHIZADEGAN, 2010).

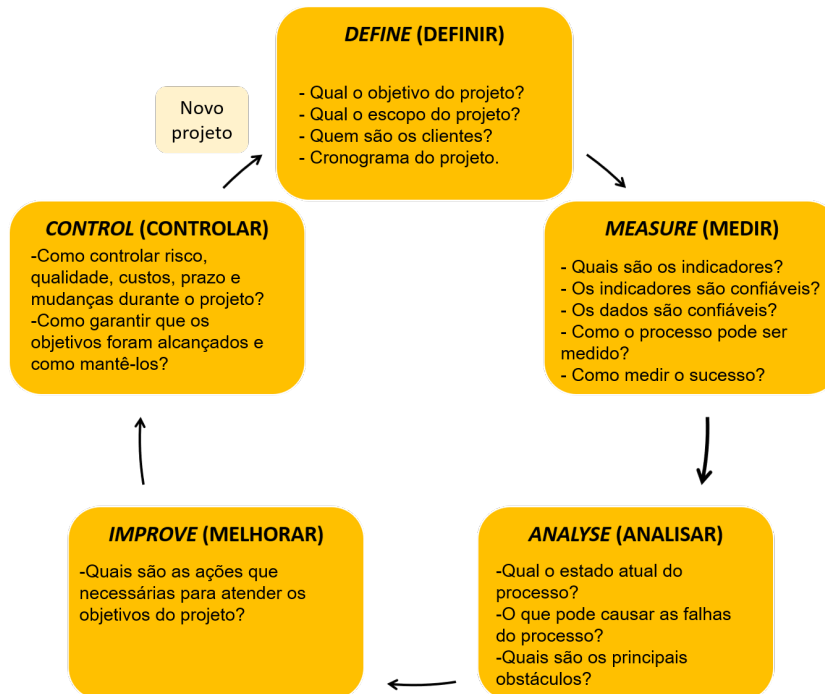
Para o sucesso da implementação do *Lean Seis Sigma*, os projetos devem aplicar os conceitos das Etapas *Define, Measure, Analyze, Improve e Control* do DMAIC, concentrando as ações na qualidade dos produtos e processos e custos para a empresa. Devem ainda garantir a entrega do produto aos clientes dentro do

prazo, melhorando a produtividade e focando em segurança e meio ambiente em todas as fases do projeto, apoiando-se sempre nos critérios dos clientes (*Voice of Customer*) e as características críticas para os clientes (CTQ). Os projetos também devem focar na aplicação dos conceitos dos elementos *Lean*, reduzindo o desperdício de tempo (espera), movimentos, processos, produtos (estoques e superprodução)(ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007; WERKEMA, 2013).

2.4 A ESTRUTURA DO DMAIC

Os projetos *Lean* Seis Sigma são desenvolvidos seguindo a estrutura do DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve e Control*), que no português seriam as etapas Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar. A abordagem DMAIC (Figura 3) foi concebida de maneira a otimizar as mudanças, para que as melhorias fossem cada vez mais eficientes e efetivas (PYZDEK, 2003). A Figura 3 mostra algumas perguntas que devem ser respondidas no desenvolvimento dos projetos *Lean* Seis Sigma.

Figura 3 – Usando o DMAIC em projetos *Lean* Seis Sigma.



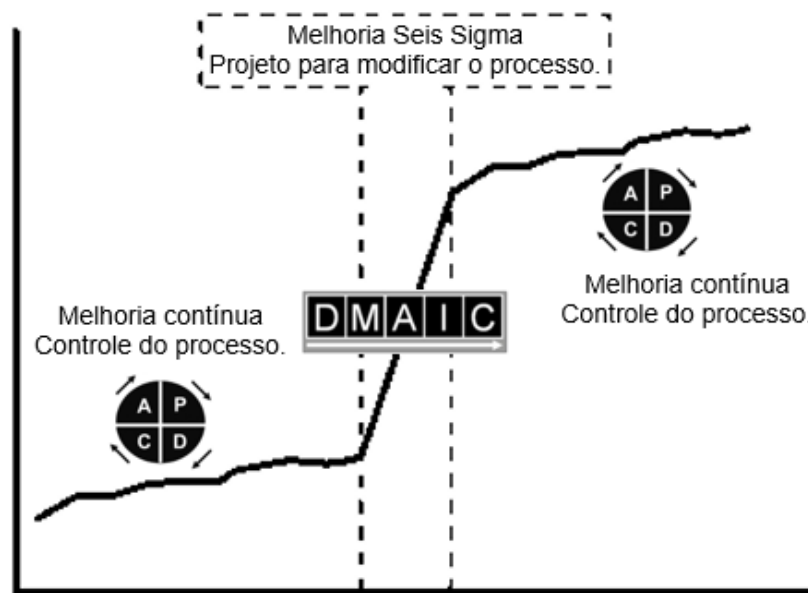
Fonte: Adaptado de Pyzdek (2003).

A literatura apresenta algumas variações do DMAIC, que seguem geralmente o mesmo conceito e técnicas, como o DMADV (*Define, Measure, Analyse, Design e Verify*) utilizado para projetos, novos produtos e processos e o DMEDI (*Define, Me-*

asure, Explore, Develop e Implement utilizado no setor de serviços (RODRIGUES, 2015a).

O DMAIC é empregado no Seis Sigma como instrumento para modificação de processos e produtos na busca por uma ruptura nos resultados como mostrado na Figura 4. O PDCA, mesmo que parecido com o DMAIC, é melhor empregado na melhoria contínua e controle dos processos (RODRIGUES, 2015a).

Figura 4 – O processo de melhoria com Seis Sigma.



Fonte: Rodrigues (2015a).

2.4.1 A associação das ferramentas da qualidade e Seis Sigma na estrutura do DMAIC

Há várias ferramentas que podem ser utilizadas para a implementação da metodologia *Lean Seis Sigma*, a Figura 5 ilustra um exemplo de como podem ser integradas com as etapas definidas pelo DMAIC. A associação das ferramentas do *Lean Seis Sigma* e das ferramentas clássicas da qualidade, juntamente das melhores práticas de gerenciamento de qualidade fornecem um conjunto poderoso para atingir excelência em um processo de transformação do negócio (ANTONY, 2012).

O modelo mostrado na Figura 5 normalmente é utilizado para a aplicação de projetos a nível *Green Belt*. Geralmente, a implementação de trabalhos *Lean Seis Sigma* nas empresas acontecem por meio de pessoas certificadas em cursos *Green Belts* e *Black Belts* que são oferecidos por instituições de ensino. No entanto, a me-

todo a metodologia é conhecida e há na literatura diversos livros e artigos quanto a sua implementação, nos próximos parágrafos serão explicadas de maneira mais detalhada o processo de implementação de um projeto *Lean Six Sigma* e como as ferramentas da qualidade podem ser empregadas em cada etapa (GOH, 2011).

Figura 5 – Modelo de implementação do DMAIC para projetos *Green Belts*.

	OBJETIVO	FERRAMENTAS
DEFINIR	Identificar os <i>Stakeholders</i> do processo; Identificar os processos críticos para os clientes; Desenvolver um plano de implementação.	Diagrama de Afinidades; Diagrama de Relações; QDF; SIPOC; Contrato de projeto
MEDIR	Medir os processos chaves; Coletar e analisar dados; Identificar etapas de maiores impactos; Estimar a capacidade do processo;	Plano de coleta de dados; Gráficos de Pareto. MSE; Histogramas; Índice de capacidade dos processos.
ANALISAR	Entender as causas e efeitos; Criar uma análise de multi-variáveis; Determinar a variância dos componentes; Determinar relação entre os componentes.	Diagrama de causa e efeito; Diagrama de dispersão.
MELHORAR	Desenvolver soluções; Reduzir a variabilidade; Padronizar processos; Avaliar os riscos.	Diagrama de árvore; FMEA.
CONTROLAR	Implementar um controle de processo; Implementar gráficos de controle para variáveis chaves; Implementar processos a prova de erro; Avaliar os resultados.	Plano de controle; <i>Poka-Yoke</i> ; Gráficos de Pareto (contínuo); Índice de capacidade (contínuo);

Fonte: Taghizadegan (2010)

Na etapa Definir, é necessário a compreensão precisa do problema, para isto um contrato de projeto é feito entre os participantes, com uma descrição do problema, metas definidas, papéis e responsabilidades de cada um, comportamento histórico do problema e o retorno econômico esperado. Também é importante compreender o im-

pacto que o problema tem sob os clientes e fornecedores e como este projeto está associado as estratégias da empresa (WERKEMA, 2013; ANTONY; BANUELAS, 2002). Este contrato é um meio para que todos da equipe conheça suas responsabilidades e as restrições que determinam o trabalho (ROTONDARO et al., 2002).

Uma das primeiras ferramentas que podem ser usadas ao se iniciar um projeto Seis Sigma é o QFD (*Quality Function Deployment* ou Desdobramento da Função Qualidade), uma vez que os projetos são desenvolvidos para os clientes. O QFD irá auxiliar a equipe do projeto no entendimento das informações do mercado (Tendências, clientes e concorrentes) e as características críticas ao mercado externo (CTQex). Com esta ferramenta é possível escutar a Voz do Cliente (VOC-*Voice of Customer*) e compreender os fatores que são críticos para qualidade (CTQ – *Critical to Quality*) e a capacidade dos departamentos internos de alcançar os objetivos com um menor risco possível (GORDON, 2002; ROTONDARO et al., 2002).

A compreensão da Voz do Cliente é realizada para determinar as principais necessidades dos mesmos e quais particularidades do produto ou serviço que influenciam nas suas percepções da qualidade (fatores críticos para a qualidade - CTQ's). Para a obtenção da Voz do Cliente podem ser utilizadas ferramentas como: entrevistas, pesquisas, reclamações do SAC, *surveys*, dentre outros (WERKEMA, 2013; GORDON, 2002; ROTONDARO et al., 2002). A determinação dos CTQ's pode influenciar no resultado obtido e sua determinação deve ser feita de maneira rigorosa com bastante atenção (GOH, 2011).

Um fator importante na Etapa Definir é a identificação dos processos críticos que influenciam no problema a ser trabalhado no projeto (ROTONDARO et al., 2002). Para isto, pode ser utilizada uma ferramenta conhecida por SIPOC cujas iniciais representam *Supplier* (Fornecedores), *Inputs* (Entradas), *Process* (Processos), *Outputs* (Saídas) e *Customers* (Clientes). Esta ferramenta auxilia na identificação dos processos mais importantes e a reduzir o escopo do trabalho à aquilo que realmente está influenciando no CTQ. Para criação do SIPOC podem ser feitas sessões de *Brainstorming* em que todas as ideias são levadas em consideração e então selecionadas e analisadas várias vezes de forma a tornar o SIPOC simples e acurado (PYZDEK, 2003).

Segundo Werkema (2013), na Etapa Medir o problema em questão deve ser melhor compreendido para que se identifique as causas majoritárias, que pode ser

feito por meio da coleta de dados ou pela análise de dados existentes que fornecerão informações úteis para captar o foco do problema. A depender dos resultados obtidos nesta etapa, o projeto poderá ser dividido em outros projetos menores. Para avaliar a confiabilidade dos dados, pode ser aplicada uma ferramenta de Análise de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE). Para a aplicação do MSE alguns passos podem ser seguidos na preparação como o planejamento da abordagem a ser utilizada, bem como a determinação do número de avaliadores, amostras e repetições de análise. É importante também que os avaliadores sejam pessoas que normalmente operaram o instrumento e que as amostras tenham representação da operação. Para coleta de dados utiliza-se um Plano de Coleta de Dados e Folhas de Verificação e as coletas de dados podem ser realizadas por amostragem ou através de uma análise a 100% da população.

Para a compreensão dos dados obtidos, várias são as ferramentas que podem ser utilizadas. De forma a compreender pontos em que os esforços de melhoria podem gerar maiores ganhos, utiliza-se os Diagramas de Pareto, que em geral possuem no eixo horizontal as diversas classes de problemas ou possíveis causas e no eixo vertical a frequência de ocorrência de cada caso. Uma curva que representa a porcentagem acumulada das ocorrências é marcada em um segundo eixo vertical. Desta maneira é possível entender quais das partes envolvidas no problema precisam ser priorizadas e terão desta maneira maior efetividade (ROTONDARO et al., 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007).

É relevante para a aplicação *Lean* Seis Sigma, a utilização de tratamentos estatísticos para a melhor análise e compreensão do sistema ou problema tratado (ROTONDARO et al., 2002; ANTONY; BANUELAS, 2002). Por isso, diversas análises estatísticas podem ser utilizadas a depender do tipo de amostra ou dado coletado como: Gráficos Sequenciais, Histogramas, Média e Desvio Padrão, Métricas Seis Sigma, Análises de Séries Temporais, Índice de Capabilidade, Análise Multivariada, entre outras (WERKEMA, 2013).

Como o objetivo do uso da metodologia é a redução da variação dentro dos processos e produtos, Werkema (2013), Adams, Gupta e Wilson (2007) apresentam algumas das métricas que são utilizadas pelo programa para medir os resultados da empresa. As métricas Seis Sigma mais utilizadas são Defeitos por Unidades (DPU), Defeitos por Oportunidades (DPO), Defeitos por Milhão de Oportunidades (DPMO) e

Escala Sigma.

Na Etapa Analisar são determinadas as causas raízes do problema, sejam estas evidentes ou não. Para isto, são utilizadas ferramentas estatísticas ou um *software* de tratamento de dados estatísticos para ajudar nos cálculos e gráficos, uma vez que o principal objetivo é analisar a variabilidade dos processos (ROTONDARO et al., 2002).

Após a análise dos dados deve ser entendido qual o processo ou etapa é o gerador do problema e quais são as causas que foram comprovadas quantitativamente. Para a determinação das causas raízes do problema, várias são as ferramentas que poderão ser utilizadas. Para melhor compreensão do fluxo e identificação de oportunidades de melhorias pode ser necessário uma análise do processo gerador do problema prioritário ou *Process Door*. Para auxiliar nesta etapa são utilizados fluxogramas, Mapa de Processo, Mapa de Produto, FMEA (Análise de Modos de falhas e efeitos), FTA (*Fault Tree Analysis*), entre outras Tabela 4. (WERKEMA, 2013).

Em seguida, são analisados os dados coletados na Etapa Medir (*Data Door*). Esta análise irá estudar os dados do problema prioritário e seu processo gerador de modo a identificar sinais ou pistas para as possíveis causas raízes do problema, ou seja, quais fatores (*x*'s) que estão adicionando variações nos resultados do problema (*Y*) (WERKEMA, 2013; ROTONDARO et al., 2002). Para análise de dados são usados Análise do Sistema de Medição e Inspeção, Histograma, *Box Plot*, Estratificação, Diagrama de Dispersão e Cartas Multi-Vari, resumidos na Tabela 4 (WERKEMA, 2013; AGUIAR, 2002; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007) .

Em seguida, as causas potenciais devem ser identificadas e organizadas,

Para determinação das causas potenciais pode-se utilizar sessões de *Brainstorming*, em que os membros da equipe e outros especialistas envolvidos participam e geram um número grande de possíveis ideias e sugestões para o tópico determinado. Para organização das causas encontradas, são utilizadas ferramentas como Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidade e Diagrama de Relações conforme explicados na Tabela 4. Se um grande número de causas são identificadas, novos dados devem ser coletados para verificar quais das causas tem maior contribuição para o efeito. Se não houver como coletar dados para todas as causas, uma Matriz de Priorização deve ser usada para priorizar as causas com maior impacto, relacionando as saídas do processo com as entradas e outras variáveis (WERKEMA, 2013).

Tabela 4 – Ferramentas Lean Seis Sigma - Etapa Analisar

FERRAMENTA	OBJETIVO
Análise do Sistema de Medição/ Inspeção	Quantificar a confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição/inspeção
Análise de Regressão	Gráfico usado para visualizar as relações entre duas variáveis.
Análise de Variância	Comparar vários grupos de interesse, controlando os erros que podem ser cometidos no estabelecimento das conclusões.
Brainstorming	É uma sessão onde um grupo dão opiniões, para gerar um número grande de possíveis ideias e sugestões para um determinado tópico.
Cartas de Controle	Entender como as causas de variação de um processo podem interferir nos resultados. Utilizado para quantificar e priorizar causas de variação de um processo.
Cartas Multi-Vari	Visualizar as fontes de variações em um resultado.
Diagrama de Causa e Efeito	Representar a relação de várias causas ou fatores em um efeito. Conhecido por Diagrama de Ishikawa.
Diagrama de Afinidades	Representar conjuntos de dados similares, que possuem uma relação natural que os difere dos demais.
Diagrama de Relações	Visualizar as relações de causa e efeito de um assunto, em que os dados são não numéricos.
Estratificação	Agrupar os dados sob pontos de várias perspectivas de modo a melhor compreender o problema estudado e esclarecer o que realmente está acontecendo.
Fluxograma	Visualizar etapas e características de um processo.
Histograma	Visualizar a distribuição das características de qualidade de interesse.
Mapa de Processo	Registrar o que se conhece do processo, descreve os limites, principais atividades/tarefas, parâmetros do produto final, do produto em processo e do processo.
Mapa de Produto	Registrar as funções do produto para auxiliar na construção ds relações entre seus componentes e fornecer informações para outras ferramentas como FTA, FMEA.
Matriz de Priorização	Para a etapa Analyse: Identificar as principais causas potenciais.
Teste de Hipótese	Processamento estatístico de dados para analisar as informações de modo a controlar os erros que podem ser cometidos no estabelecimento das conclusões sobre as questões avaliadas: Fazer inferências sobre características do processo e/ou produto.
FMEA (Análise de Modos de falhas e efeitos)	Identificar todos os possíveis modos de falhas potenciais e priorizá-los; Determinar o efeito de cada falha sobre o desempenho do produto ou processo e seus riscos; Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance da falha potencial acontecer; Avaliar as prioridades para coleta de dados para identificar as causas raízes de um problema.
FTA (Fault Tree Analysis)	Verificar as possíveis causas raízes e estabelecer uma relação lógica entre as falhas primárias e a falha final do produto.
Planejamento de Experimentos	Processar informações de dados para identificar qual a direção o processo deve seguir para alcançar a meta estabelecida.

Fonte: Autoria Própria (2019)

Assim, o grau de influência das causas potenciais encontradas devem ser quantificadas para que se determine quais destas causas têm maior impacto no problema. Para isso, podem ser usadas algumas ferramentas (Tabela 4), sendo estas: Avaliação do Sistema de Medição e Inspeção, Cartas de Controle, Diagrama de Dispersão, Análise de Regressão, Testes de Hipótese, Análise de Variância, Planejamento de Experimentos, entre outras (WERKEMA, 2013; ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007; AGUIAR, 2002).

É nesta fase do projeto que as ideias são colocadas em funcionamento. Após a validação de todas as causas raízes, a equipe do projeto deve identificar ferramentas, oportunidades e métodos para resolver o problema baseados na necessidade do cliente de modo a eliminar todas as causas raízes. E a medida que as soluções são aplicadas, é necessário checar se os resultados desejados estão sendo obtidos. Para isso, experimentos ou testes podem ser necessários (ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007).

Na Etapa Controlar, os resultados obtidos são avaliados de maneira a determinar se os objetivos iniciais foram ou não alcançados. Caso não tenham sido alcançados, deve-se retornar à Etapa Medir e reavaliar as etapas de medições. Se o objetivo foi atingido deve-se criar maneiras de padronizar as melhorias implementadas, criar dispositivos à prova de erro (*Poka-Yokes*) e implementar um plano de monitoramento para garantir que os resultados sejam mantidos (RODRIGUES, 2015a; WERKEMA, 2013).

2.5 ESTUDOS CORRELATOS

O consumidor, cada vez mais exigente, requer do mercado produtos e serviços cada vez melhores, o que incentiva as indústrias por estratégias mais competitivas para obtenção de vantagem comercial (GIJO; RAO, 2005), por isso diversos estudos têm sido desenvolvidos na área de melhoria de qualidade e performance nos últimos anos. O *Lean Seis Sigma* é uma destas metodologias e pode ser aplicado nos mais diversos setores industriais: fabricação, processos e serviços (ANTONY, 2012; ANTONY; BANUELAS, 2002).

A grande quantidade de pesquisas na área se deve a algumas características da metodologia e de bons resultados obtidos em aplicações anteriores. Para Antony

(2012), o que oferece ao *Lean Seis Sigma* uma vantagem em relação às outras metodologias é o foco nos interesses dos clientes, a assertividade de atingir problemas que são prioridades para os negócios e o conjunto de ferramentas que trabalhadas em conjunto dão direcionamento na busca da excelência. No entanto, o sucesso da aplicação do método depende fortemente do envolvimento da liderança (GOH, 2010).

Alguns destes resultados são apresentados nos estudos de Srinivasan, Muthu e Devadasan S.R. (2016) que utilizaram a estrutura do ciclo DMAIC para melhorar o nível sigma de uma indústria de bocal de fornos e através da aplicação das ferramentas de qualidade e do *Lean Seis Sigma*. Os autores conseguiram identificar falhas na velocidade da máquina de perfuração, o que levou a diminuição da variação do diâmetro do bico e a rejeição dos bocais no processo, ao final do projeto evoluíram o nível sigma da companhia em 10%.

Zhang et al. (2015) aplicaram a metodologia em um indústria de fabricação de folhas de lâminação a frio e tinham o objetivo de diminuir a variação na espessura das lâminas e melhorar o rendimento da razão das lâminas com espessura dentro do valor e fora do valor em 24,44%. com a aplicação da metodologia Seis Sigma, os autores obtiveram uma melhoria de 30,02% no rendimento, maior que o objetivo inicial do trabalho.

Como exemplo da aplicação da metodologia na indústria automotiva, Nascimento (2004) aplicou o Seis Sigma em um projeto *Black Belt* na regulagem do volume de óleo de motores. O trabalho objetivou a redução de 50% do índice NDAR (Não dá dosagem após regulador), que é um tipo de falha das bombas. Foi verificado que o cabeçote era o componente com maior influência no processo. Além disso, foram percebidas falhas nos sistemas de medições e peças não conformes da indústria. No entanto, com as análises de causas raízes foi identificado que o problema se dava em virtude da falta de treinamento dos operadores que realizavam as operações.

Gijo, Palod e Antony (2018) aplicaram a metodologia em uma indústria de produção do injetor de combustível de um automóvel e com a implementação da estrutura proposta do LSS identificaram a etapa do processo que era a maior geradora de problemas, as causas raízes e após a aplicação das soluções propostas reduziram a DPMO de 38000 para 5600.

Da mesma maneira, Pugna, Negrea e Miclea (2016) utilizaram o Seis Sigma na identificação do processo mais impactante nos resultados da linha de montagem

de buzinas e assim melhorar os resultados da companhia. Após coletas de dados de todos os turnos, verificou-se que a altura da rebitagem aumentava com o tempo. Assim na avaliação dos modos de falha, foi observado que a fadiga dos operadores com o passar do tempo levava à variação. De modo a reduzir as falhas, foi adicionado um *poka yoke* sonoro na operação melhorando a rebitadeira utilizada. O projeto trouxe um ganho 44,2% no nível sigma, o que representou uma melhoria de 2,9 para 5,2 e a redução da DPMO de 81000 para 108. As principais ferramentas das metodologias Seis Sigma e *Lean* Seis Sigma utilizadas neste trabalho e nos outros mencionados (SRI-NIVASAN; MUTHU; DEVADASAN S.R., 2016; ZHANG et al., 2015; NASCIMENTO, 2004; GIJO; PALOD; ANTONY, 2018) podem ser verificados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ferramentas utilizadas na aplicação *Lean* Seis Sigma: estudos anteriores.

AUTOR E ANO	INDÚSTRIA	Project Charter	SIPOC	VOC	Diagrama de Ishikawa	Diagrama de Pareto	MSA	5PQ's	FMEA	Matriz de Decisão	Brainstorming	Análise Multi-Vari	Estratificação	Outras
K. Srisnivasan; S. Muthu; S. R. Devadasan e C. Sugumaran (2016).	Fabricação de bocal de fornos.	X	X	X	X		X				X			X
Min Zhang, Wei Wang, Thong Ngee Goh e Zhen He (2014).	Produção de folhas de laminação a frio	X	X		X				X	X		X		X
E. V. Gilo, Raniprasad Palod e Jiju Antony (2018).	Indústria Automotiva	X	X		X	X	X				X			X
Adrian Pugna, Romeo Negrea e Serban Miclea (2014).	Indústria Automotiva		X		X	X				X				X
André Lopes do Nascimento (2004)	Indústria automotiva				X	X	X	X			X			X

Fonte: Autoria Própria (2019).

Observa-se que todos os trabalhos analisados utilizaram Diagrama de Causa e Efeito para o levantamento das possíveis causas raízes e que grande maioria utilizaram do SIPOC para mapeamento do processo. Além disso, todos os trabalhos utilizaram outras ferramentas não dispostas na tabela, o que demonstra a flexibilidade da metodologia em que podem ser utilizadas uma infinidade de métodos, ferramentas, sejam estas de qualidade ou performance.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são descritos a classificação do tipo de pesquisa deste trabalho e os procedimentos metodológicos utilizados na execução do projeto.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho pode ser classificado como de natureza aplicada por possuir caráter básico e por ser fundamentada em conceitos teóricos sem necessariamente mostrar resultados práticos. Quanto aos objetivos, classifica-se como uma pesquisa normativa pois visa o desenvolvimento de uma estrutura para a melhoria de indicadores em indústria de fabricação e assim contribuir com as metodologias existentes (TURRIONI; MELLO, 2012). Foi utilizada uma abordagem qualitativa que buscou a compreender a metodologia em estudo e identificar ferramentas que podem auxiliar na otimização de indústrias que possuem índices de recusas de produtos não conformes. (OLIVEIRA, 2011).

O método utilizado na execução do trabalho seguiu a estrutura do *Soft Systems Methodology*, por se tratar de uma proposta de um procedimento metodológico para utilização de ferramentas de qualidade, baseando-se na estrutura DMAIC. A classificação se justifica pelo fato de que o trabalho mostra como resultado uma adaptação dos modelos de aplicação já existentes (TURRIONI; MELLO, 2012). Além disso, este tipo de metodologia escolhido permite uma flexibilidade na determinação dos caminhos a seguir, por possibilitar que o direcionamento das pesquisas ocorra por experiência e intuição dos autores (WINTER; CHECKLAND, 2003).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

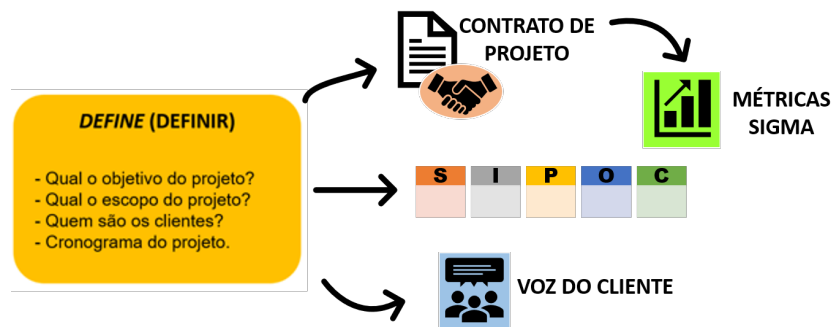
Este trabalho visa propor uma metodologia para aplicação de ferramentas de qualidade seguindo a estrutura DMAIC para a melhoria de indicadores no setor industrial e serviços, de maneira a reduzir a recusa de peças e produtos e melhorar indicadores de qualidade do setor de serviços. O objetivo é que a metodologia possa ser aplicada a qualquer indústria do setor industrial (fabricação e processo) e quando aplicado possa ser utilizado no setor de serviços.

Na primeira etapa do trabalho, definiu-se que o presente estudo trataria de uma proposta para melhoria de indicadores baseando-se na estrutura DMAIC do *Lean Seis Sigma*. Portanto, o tema escolhido foi o desenvolvimento de um procedimento de aplicação das ferramentas da metodologia *Lean Seis Sigma* para melhoria de indicadores de qualidade nos mais diversos setores.

Em seguida, foi realizada uma extensa pesquisa científica para uma melhor compreensão da metodologia *Lean Seis Sigma* e as ferramentas utilizadas em cada etapa do DMAIC (*Define, Measure, Analyse Improve, Control*). Foram pesquisados livros, teses, dissertações, monografias, trabalhos de conclusão de cursos e artigos. Estes materiais foram utilizados como base para o desenvolvimento da revisão de literatura, bem como o desenvolvimento de cada etapa deste trabalho.

A estrutura do trabalho e as ferramentas sugeridas seguem o proposto pela literatura para aplicação do método de melhoria DMAIC. Na etapa de definição, algumas perguntas devem ser respondidas para melhor compreensão e planejamento das atividades do projeto como foi discutido no subseção 2.4.1. A Figura 6 mostra as principais ferramentas de qualidade sugeridas para utilização nesta etapa.

Figura 6 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Definir.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Portanto, recomenda-se que seja primeiramente desenvolvido um Contrato de Projeto (*Project Charter*), definindo as pessoas envolvidas, o objetivo do trabalho, seu escopo e possíveis ganhos financeiros. Nesta etapa também é necessário o conhecimento da situação atual do processo, ou serviço, analisando dados de ocorrências de anomalias passadas. Os dados devem ser estratificados em gráficos de Pareto para compreensão do problema e definição do *Want to be* do processo.

Ainda na Etapa Definir, deve-se mapear o processo envolvido no problema

em questão, por meio do uso da ferramenta SIPOC, analisando para este processo quais eram os Fornecedores (*Suppliers*), Entradas (*Inputs*), Saída (*Outputs*) e Clientes (*Customer*). Para percepção da necessidade dos clientes e quais são os fatores críticos necessários para os clientes deste processo recomenda-se a utilização da ferramenta VOC (*Voice of Customer*), que pode ser realizada com o auxílio de entrevistas com as pessoas envolvidas.

Para a determinação do estado inicial do processo nas linguagem do *Lean* Seis Sigma, sugere-se a utilização do cálculo das métricas sigma. Uma métrica recomendada é a DPMO (Defeitos por um milhão de Oportunidades). Posteriormente este valor pode ser convertido em nível sigma. A DPMO é calculada baseada na quantidade de oportunidades de defeitos, total de peças inspecionados e número total de defeitos no período em questão.

A Etapa Medir (*Measure*) busca a mensuração do problema selecionado, algumas ferramentas que são propostas são mostradas na Figura 7. Na Etapa Medir recomenda-se que os dados sejam explorados mais profundamente, utilizando-se da estratificação dos dados coletados por meio de diagramas de Pareto, histogramas e gráficos de dispersão.

Figura 7 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Medir.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Etapa Analisar (*Analyse*) deve ser utilizada para identificação das causas raízes através de análises como 5 porques, diagrama de Ishikawa e *brainstormings* como evidenciado na Figura 8.

Figura 8 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Analisar.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Assim, propõe-se o levantamento das possibilidades para ocorrências das anomalias e suas possíveis causas, utilizando-se de sessões de *Brainstormings*. Para entender melhor como cada ponto levantado poderia influenciar nas recusas, utiliza-se de diagramas de causa e efeito (diagrama de Ishikawa), avaliando cada ideia abordada nos 4M's (Mão de Obra, Método, Meio e Material). Para auxiliar na determinação das causas raízes pode ser utilizado a ferramenta 5 porques.

Em seguida, na Etapa Melhorar (*Improve*), onde ações devem ser realizadas para que os objetivos sejam alcançados indica-se que as ferramentas mostradas na Figura 9 sejam aplicadas.

Figura 9 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Melhorar.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Após a revelação das causas raízes, deve-se desenvolver um plano de ações para serem usadas na redução das potenciais causas discutidas na Etapa Analisar, que pode envolver a aplicação do 5S (utilização, organização, limpeza, saúde e au-

todisciplina), padronização de atividades, utilização de círculos de qualidade envolvendo vários departamentos e o cálculo do resultado obtido por meio da DPMO e Nível Sigma.

Como o desafio principal da última etapa é que se desenvolva um plano de controle monitoramento para que os resultados obtidos sejam mantidos, propõe-se que nesta etapa faça uso das ferramentas de qualidade mostradas na Figura 10.

Figura 10 – Ferramentas recomendadas para utilização na Etapa Controlar.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Desta maneira, esta última etapa pode ser realizada pelo acompanhamento do resultado atingido e manutenção das atividades de reatividade dos defeitos e anomalias encontradas como os círculos de qualidade, expandindo também sua aplicação. Além disso, em indústrias de fabricação com áreas de reparo e qualidade deve-se manter ações de reatividade para que os resultados obtidos no projeto tenham continuidade.

4 RESULTADO

Este capítulo apresenta a descrição detalhada das ferramentas que podem ser aplicadas em cada etapa da metodologia DMAIC de maneira a auxiliar na melhoria de indicadores de recusa de peças ou produtos não conformes, de maneira a alcançar os objetivos geral e específicos deste trabalho.

4.1 ETAPA DEFINIR (*DEFINE*)

Segundo Pyzdek (2003) na Etapa Definir é que serão definidos os objetivos das atividades a serem executadas, a partir de uma análise das expectativas dos clientes. A seleção dos trabalhos devem estar alinhadas com os objetivos estratégicos da empresa, para a alta direção um projeto *Lean Seis Sigma* ou baseado no *Lean Seis Sigma* pode significar uma maior satisfação dos clientes mas no nível operacional o objetivo dos trabalhos podem ser simplesmente a melhoria de um determinado indicador.

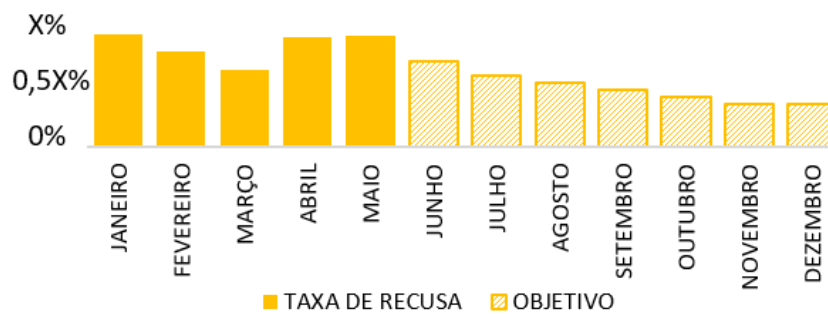
Uma das tarefas principais da etapa de definição do trabalho é a determinação dos objetivos (GORDON, 2002) ou a situação *Want to Be* (W2B) do projeto. Portanto, uma das primeiras partes na execução de um projeto é a compreensão do estado atual do objeto de trabalho. Em indústrias de manufatura ou fabricação, podem existir dentro do processo recusas de produtos não conforme, que geram retrabalhos e custos adicionais desnecessários. Na indústria automotiva, por exemplo, as recusas podem ser originadas pela detecção de defeitos nos veículos ou peças em alguma etapa do processo de fabricação. Por isso, devem ser documentados cada recusa e seu motivo de rejeição.

Destes dados documentados, é importante que se extraia a maior quantidade de informações que podem ajudar a identificar padrões e irão auxiliar a identificar as causas raízes que estão gerando estas recusas. Estas informações pode ser o modelo dos veículos ou o tipo de peça recusada, linha de montagem da peça defeituosa, tipo de defeito (degradação, montabilidade, aspecto de pintura, etc), horário da recusa e outras informações a depender da necessidade. Para as indústrias de serviços,

deve-se analisar qual indicador que se irá trabalhar e compreender quais informações podem ser retiradas dos dados disponíveis.

Caso não haja um indicador específico, pode ser criado um indicador, como por exemplo um indicador de taxa de recusa (quantidade de recusas totais no mês em relação ao total de peças ou veículos inspecionados). O objetivo pode ser traçado em relação à este indicador. Por exemplo, se uma indústria de fabricação da peça Y tem uma taxa de recusa de 0,9X% nos meses de maio e abril, pode ser determinado um objetivo de 62,5% de redução desta taxa até o final do ano (dezembro) como mostrado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Exemplo 1: Taxa de recusa da peça Y por mês.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para determinar o direcionamento o trabalho e os objetivos específicos, podem ser utilizadas as informações adicionais de cada recusa. Para isto existem ferramentas clássicas da qualidade como gráficos de Pareto e histogramas e outros como gráficos de dispersão e de colunas. Que ajudarão a identificar se há um padrão no comportamento dos dados com o tempo e determinar o direcionamento do trabalho.

Identificadas todas as informações referentes ao problemas é o momento de definir as metas do projeto e registrar estas informações a fim de formalizar o projeto, tendo suas devidas aprovações, por parte dos patrocinadores e demandantes do projeto.

Tendo as metas do trabalho bem definidas, determina-se as pessoas que estarão envolvidas no projeto, direta e indiretamente. Se houver uma área de retoque, como é o caso de indústrias automotivas, as recusas dos defeitos podem ser defeitos originados em linhas de montagem e não detectados na inspeção de qualidade ou defeitos originados no retoque ou mal retocados. Nestes casos, é necessário que se

trabalhe com esta informação pois apesar de não ser a causa raiz primária do defeito é a causa raiz secundária, pois os defeitos deveriam ser estancados nestas etapas.

Se o trabalho é executado na última área da empresa, as pessoas envolvidas podem estar ligadas à qualidade, logística, retoque, etc. Assim informações mais relevantes ao trabalho, bem como uma análise resumida dos motivos de escolha do trabalho devem ser reunidas em um Contrato de Projeto como o exemplo mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Exemplo de um Contrato Projeto (*Project Charter*).

Projeto Seis Sigma: Reduzir Custos no Graneleiro				
Produto/ Serviço	Recebimento de Grãos	Retorno projeto	R\$ 880.000,00	
Belt líder	Black Belt - Gestão Estratégica	Departamento/Setor	Graneleiro	
Patrocinador	Superintendente de Operações	Dono do processo	Gerente do Graneleiro	
Champion	Gerente Master	Data inicial	01/03/2016	
MBB	Consultor Externo	Data final	16/12/2016	
Informação	Explicação	Descrição		
1. Caso de negócio	Ligação do projeto com a estratégia da empresa	O projeto está relacionado com o direcionador estratégico de Alta Eficiência, que visa atingir o resultado com o mínimo possível de perda de recursos.		
2. Oportunidades	Quais são as oportunidades do projeto?	Em 2014 o recebimento de produtos foi de 1.200.000 toneladas, e o custo MRS 7.500; já em 2015 foram 1.160.000 toneladas, e MRS 8.300; ou seja, houve queda no recebimento do Graneleiro Maringá e um aumento no custo. Além disso, nos últimos 3 anos os valores realizados foram, em média, 34% maiores que os valores orçados. Em 2015 o valor realizado (R\$7,15/Ton) foi 27% maior que o valor orçado (R\$5,64/Ton). Para 2016, temos a oportunidade de reduzir o valor realizado em 2015 para o valor orçado em 2016 de R\$6,45/Ton.		
3. Meta	Qual é a meta do projeto?	Cumprir o orçamento definido para o Graneleiro em 2016, que consiste em manter um custo de R\$ 6,45/Ton, representando um ganho de R\$ 880.000,00.		
4. Escopo do projeto	Processos que serão afetados pelo projeto. Começo e fim do processo fundamental	Todos os processos do graneleiro Maringá, desde a classificação até a expedição, incluindo processos de suporte como manutenção, logística e contratação de mão de obra temporária.		
5. Membros da equipe	Nome, setor, função e dedicação dos participantes	Black Belt Líder (Gestão Estratégica) Dedicção: 30%		
		Green Belt: Rodrigo Subirá Conceição (Estagiário) 100%		
		Green Belt: Aux. Administrativo (Graneleiro) 50%		
		Yellow Belt: Gerente (Graneleiro) 20%		
		Yellow Belt: Supervisor Administrativo (Graneleiro) 20%		
Yellow Belt: Supervisor Manutenção 20%		Especialista: Analista de Finanças		
6. Benefícios para clientes externos	Mencione os clientes finais e os indicadores chaves e benefícios que serão percebidos	Redução dos custos do graneleiro, alinhamento com a estratégia de Alta Eficiência da cooperativa, e melhoria na gestão de custos.		
7. Agenda	Etapas do DMAIC		Início planejado	Início real
	Definir		3/1/2016	3/1/2016
	Medir		3/21/2016	3/21/2016
	Analisar		5/2/2016	
	Melhorar		8/1/2016	
	Controlar		10/3/2016	
Benefícios (rastrear por 12 meses)		7/1/2016		
8. Recursos requeridos	Há alguma habilidade, equipamento, sistema, etc. que seja necessário?	Modificações nos sistemas com a finalidade de melhorar a gestão de custos.		
9. Assinatura dos responsáveis	Quem são as pessoas chaves que devem validar o projeto?	Champion: Gerente Master Finanças: Analista de Finanças		

Fonte: Conceição e Chirolí (2017).

Para visualização dos componentes envolvidos no projeto utiliza-se da ferra-

menta conhecida por SIPOC que representa as palavras *Suppliers* (Fornecedores), *Inputs* (Entradas), *Process* (Processo), *Outputs* (Saídas) e *Customer* (Clientes). Esta ferramenta é importante para conhecimento das fronteiras do projeto (entradas, saídas e fornecedores), mapear pontos de coletas de dados relevantes e identificar oportunidades de melhoria do processo (TAGHIZADEGAN, 2010). A ferramenta SIPOC pode ser utilizada em trabalhos realizados nos mais diversos setores e aplicações. Por exemplo, no estudo de caso realizado por Domingues (2013), a proposta melhoria foi sugerida pelo próprio cliente, o que tornou o projeto prioritário para a empresa. Assim, para entender os componentes influenciadores do processo de produção do parafuso MCS, foi utilizado a ferramenta SIPOC como mostrado na Figura 12. Outra aplicação industrial da ferramenta é mostrado na Figura 13, que é utilizada para mapear o processo de venda de um produto X ao comércio. Além destes exemplos, Donin (2018) aplicou a ferramenta em seu trabalho para aplicação de melhorias em uma unidade de atendimento a saúde (Figura 14).

Figura 12 – SIPOC: Mapeamento do processo de uma indústria de fixação.

<i>Suppliers</i>	<i>Inputs</i>	<i>Process</i>	<i>Outputs</i>	<i>Customers</i>
Departamento de vendas	Pedido do cliente	Receção do pedido	Embalagem de parafusos MCS	Expedição
<i>Stock</i> de bobines	Bobine	Decapagem da bobine		Consumidor final
Ferramentaria	Ferramenta para a prensa	Trefilagem e Estampagem		
Fornecedor de têmpera e revenido	Têmpera e revenido	Roscagem		
Fábrica responsável pelo tratamento de superfície (<i>outsourcing</i>)	Revestimento de zinco e níquel	Tratamento térmico		
Fornecedor de embalagens	Embalagens	Tratamento de superfície (subcontratação)		
		Controlo de qualidade automático e embalagem		

Fonte: Domingues (2013).

Figura 13 – SIPOC: Mapeamento do processo de venda de um produto X ao comércio.

S	I	P	O	C
Suppliers	Inputs	Process	Outputs	Customers
Fornecedores	Insumos	Processo	Produtos	Clientes
Qualidade	Peças	Venda do produto ao comércio	Produtos para comércio	Qualidade (Final)
Reparo	Ferramentas			
RH	Inspetores qualidade Retocadores			
Informática	Gama de Inspeção		Produtos recusados	Logística Comercial
Manutenção	Meios (Iluminação, computadores, ...)			
Engenharia				

Fonte: Autoria Própria (2019).

Figura 14 – SIPOC: Mapeamento do processo de uma unidade de atendimento a saúde.

FORNECEDOR	ENTRADAS	PROCESSO	SAÍDAS	CLIENTES
Estoque Medicação/ Equipamentos ambulatoriais	Ficha de Identificação	Entrada do Paciente	Diagnóstico da Consulta	Paciente
Lavanderia/ Esterilizadores	Ficha de Triagem	Cadastramento	Exames/ Medicação	
Serviços Gerais	Requisição de Consulta	Triagem	Procedimentos Ambulatoriais	
Médicos (as)	Medicação/ Remédios	Consulta Médica		
Enfermeiros (as)	Exames	Confirmação de Exame		
Secretários (as)	Paciente	Confirmação de Medicação		
		Fim		

Fonte: Donin (2018)

Como um dos objetivos fundamentais do *Lean Seis Sigma* é a busca por excelência tendo em vista as necessidades e expectativas dos clientes (WERKEMA, 2013), outra ferramenta importante da etapa de definição é a *Voz do Cliente* (*Voice of Cus-*

toyer - VOC) que busca compreender quais são as características do processo ou produto que são críticos para a qualidade, os CTQ's (*Critical to quality*). Os CTQ's irão dar a direção para que o trabalho vá de encontro ao que oferece mais valor para seus consumidores. Por exemplo, o VOC pode auxiliar a entender o que um cliente final da etapa de entrega de uma peça Y para a logística espera deste processo. Como exemplo da aplicação no setor de serviços, Silva (2017) utilizou técnicas e ferramentas para entender a percepção dos clientes que utilizam transporte rodoviário, de maneira que as definições desdobramentos de melhoria fossem baseadas nas percepções negativas dos usuários em vários critérios, o resultado obtido da análise pode ser verificado na Figura 16. Já na Figura 15 pode-se ver a ferramenta aplicada à um processo em que há a venda de produtos e a recusa por não conformidade nas peças.

Figura 15 – Exemplo do uso da ferramenta VOC em um processo de venda de uma peça ao comércio.



Fonte: Silva (2017)

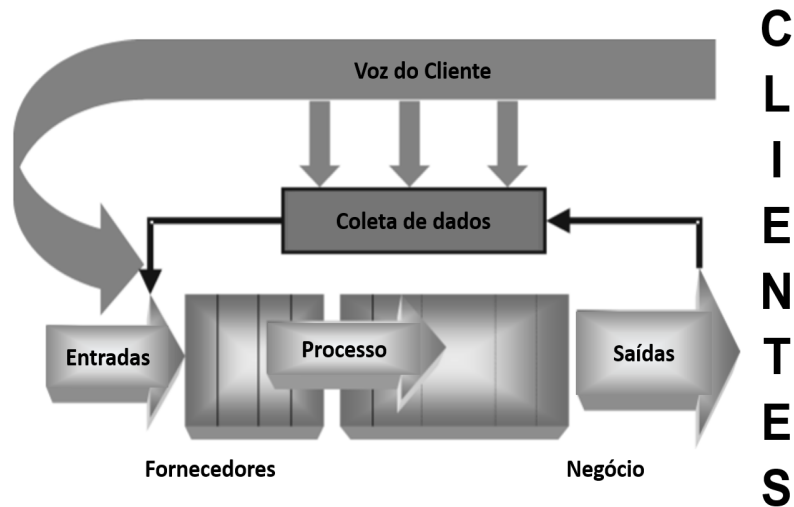
Figura 16 – Exemplo do uso da ferramenta VOC para determinação dos CTQ's para usuários do transporte rodoviário dos Campos Gerais.

Critério	Requisitos Positivos	Requisitos Negativos
PONTUALIDADE	- Ônibus no horário	- Atraso
REGULARIDADE DO VEÍCULO	- Assentos Disponíveis - Conforto do Assento - Cinto de Segurança - Janelas abrem e fecham - Limpeza - Cortinas	- Ônibus Lotado - Calor/Frio - Ônibus sujo - Chuva dentro do ônibus
REGULARIDADE DO TERMINAL	- Assentos nos terminais - Cobertura nos terminais - Banheiros nos terminais - Segurança nos terminais - Limpeza nos terminais - Venda de Passagem nos terminais	- Esperar de pé no terminal - Não ter conforto - Ser assaltado enquanto espera - Não ter ponto de venda
REGULARIDADE DO PONTO DE PARADA	- Local do Ponto Adequado	- Não ter cobertura - Isolado - Sem iluminação
SEGURANÇA	- Responsabilidade do Motorista - Seguro de vida para passageiros	- Ônibus sem cinto - Motorista Intransigente
CONTINUIDADE	- Horários de ônibus fixos - Acesso aos horários	- Ônibus passa cada dia em um horário diferente - Não tem rota fixa
EFICIÊNCIA	- Atendimento as necessidades - Sem acidentes	- Ponto de parada muito longe - Ônibus quebra sempre
GENERALIDADE	- Atende a todos - Assentos para idosos, gestantes, pessoa com deficiência e obesos	- Não atende pessoas com cadeiras de rodas
CORTESIA	- Motoristas, cobradores e vendedores simpáticos - Ajuda e solução de dúvidas	- Grosseria dos funcionários
MODICIDADE DAS TARIFAS	- Tarifas Justas	- Preço alto

Fonte: Silva (2017)

A Figura 17 mostra a relação entre o VOC (Voz do Cliente) e o SIPOC, em que as características críticas para os consumidores ou clientes são fatores determinantes para orientar projetos de melhoria internos dentro do processo e externos atuando com os fornecedores em busca de uma evolução mútua (ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007).

Figura 17 – Relação entre fornecedores e clientes dentro de uma organização



Fonte: Adaptado de Adams, Gupta e Wilson (2007) .

A Etapa Definir é uma das principais etapas do DMAIC, para o sucesso de um projeto *Lean Seis Sigma* os objetivos, as pessoas envolvidas e problema devem estar bem retratados. A relação entre as ferramentas VOC e o SIPOC fornecem pontos importantes de medidas e coletas de dados para direcionar os trabalhos de melhoria e assim retornar os resultados obtidos ao cliente, por isso a atenção dada à determinação dos CTQ's durante a execução desta etapa do projeto nunca é excessiva (ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007; GOH, 2011).

4.2 ETAPA MEDIR (*MEASURE*)

Para determinar o índice de performance do processo em questão, pode ser utilizado o cálculo da DPMO (Defeitos por Milhões de Oportunidades) que é uma métrica do *Lean Seis Sigma* baseada em unidades de produtos finais (ADAMS; GUPTA; WILSON, 2007). Da DPMO é calculada pela Equação 2 e a partir do valor obtido é possível calcular o nível sigma do processo. Utiliza-se para o cálculo da DPMO o número de defeitos ou peças defeituosas (ND) encontradas dentro das unidades analisadas (NU) e o número de oportunidades de defeitos (NO). A NO irá variar de processo a processo, por exemplo, se em um processo em que as possibilidades de defeitos são inúmeras, como em uma montadora de veículos, pode-se classificar os defeitos em famílias ou tipos de defeitos, como degradações, montabilidade, enchimento, ruído e

geometria, assim a NO será o número de possibilidade de família de defeitos. Então, para a conversão do DPMO em nível sigma utiliza-se uma tabela de conversão, como a tabela encontrada em Taghizadegan (2010) (Tabela 6) .

$$DPMO = \frac{ND \cdot 10^6}{NO \cdot NU} \quad (2)$$

Tabela 6 – Tabela de conversão DPMO para Sigma.

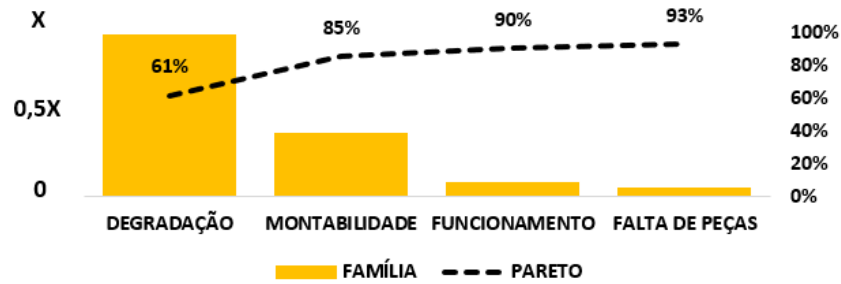
DPMO	Nível Sigma	Rendimento (%)
187000	4,399	99,81300
200000	4,378	99,78000
255000	4,301	99,74500
300000	4,248	99,70000
347000	4,200	99,65300
400000	4,152	99,56000
466000	4,100	99,53400
500000	4,076	99,50000
621000	4,000	99,37900
820000	3,900	99,18000
1000000	3,826	99,00000

Fonte: Taghizadegan (2010)

A partir do que foi planejado na etapa anterior, deve-se verificar os pontos para coletas de dados, que fornecerão as informações necessárias. Para a coleta de dados podem ser usadas folhas de verificação que podem ser para coletar dados dos tipos, localização ou de causa dos defeitos.

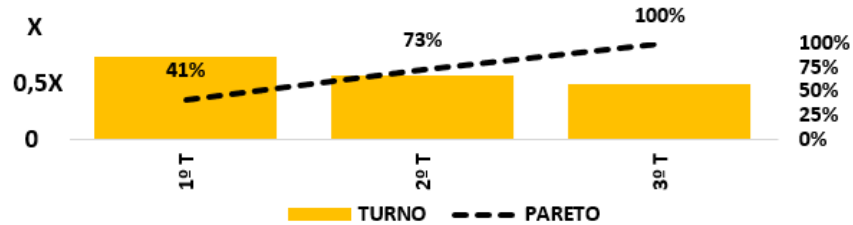
Além disso, com os dados coletados ou registrados das recusas de produtos não conformes, é possível estratificar as informações por meio de gráficos de Pareto. Um exemplo desta aplicação pode ser vista no Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4, que mostram que a partir do Gráfico 2, pôde-se extrair cada vez mais informações dos dados em análise. O Gráfico 3 estratifica as degradações de uma determinada indústria entre os turnos de produção, de maneira a verificar se há um turno com maior impacto. Já o Gráfico 4 evidencia que os principais problemas com degradações ocorrem na peça 1.

Gráfico 2 – Gráfico de Pareto 1: Estratificação das recusas por famílias de defeitos.



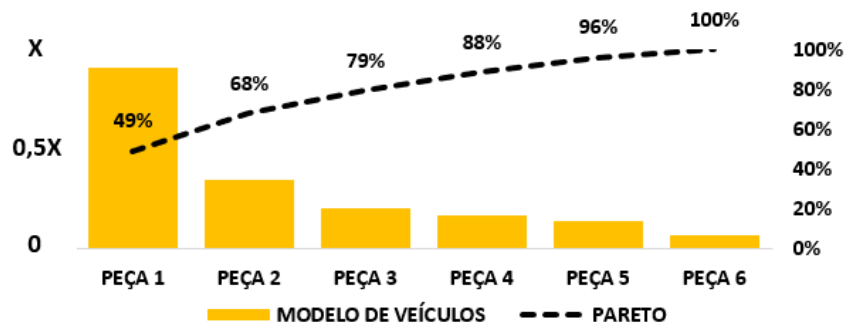
Fonte: Autoria Própria (2019).

Gráfico 3 – Gráfico de Pareto 2: Estratificação das degradações por turno de fabricação.



Fonte: Autoria Própria (2019).

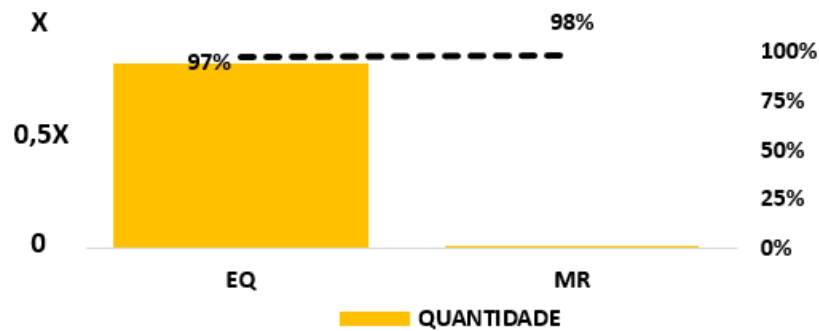
Gráfico 4 – Gráfico de Pareto 3 : Estratificação das degradações por tipo de peça.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Se o escopo do trabalho englobar as áreas de reparo e qualidade, pode ser necessário analisar pelo aspecto das causas raízes secundárias, avaliando se os defeitos detectados poderiam ter sido detectados pela equipe da qualidade (Escape da Qualidade - EQ) e retrabalhados antes de gerar uma recusa ou se foram detectados mas não foram reparados corretamente (Mal reparado- MP). Seguindo esta lógica de estratificação, o Gráfico 5 mostra que no exemplo de recusa da peça 1 por degradações, cerca de 97% eram defeitos de escape da qualidade.

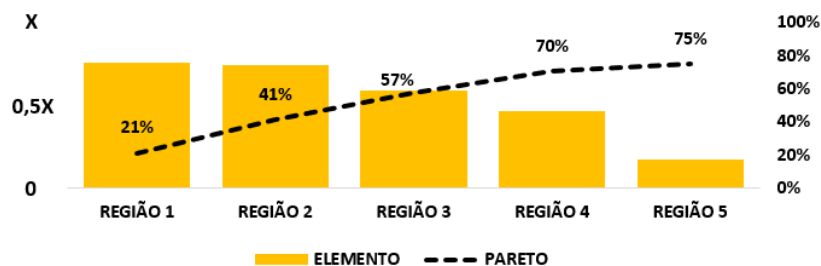
**Gráfico 5 – Gráfico de Pareto 4: Estratificação das recusas de de-
gradações da peça 1 baseado na classificação MR e EQ**



Fonte: Autoria Própria (2019).

A estratificação dos dados coletados pode ser feita de maneira a tornar a análise cada vez mais específica. Uma vez determinado que uma peça ou produto específico tem as maiores incidências, pode ser necessário identificar qual parte da peça ou produto que mais é acometido. Por meio do Gráfico 6, nota-se que além de identificar a peça que foi mais recusada, foi possível extrair informações até mesmo da região da peça que teve maior incidência de defeitos.

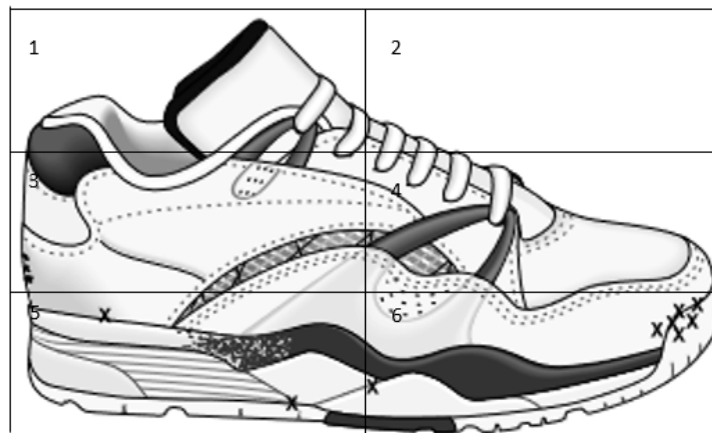
**Gráfico 6 – Gráfico de Pareto 5: Estratificação dos defeitos de de-
gradação pelas regiões da peça 1**



Fonte: Autoria Própria (2019).

Além disso, caso a informação das regiões com maiores incidência de defeitos não esteja nos dados já coletados, pode-se utilizar folhas de verificação para criar mapas de calor de incidência de defeitos, que mostram as regiões da peça ou produto que mais incidem os defeitos, como mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Folha de Verificação por localização de defeitos de laminação de um indústria de fabricação de tênis.



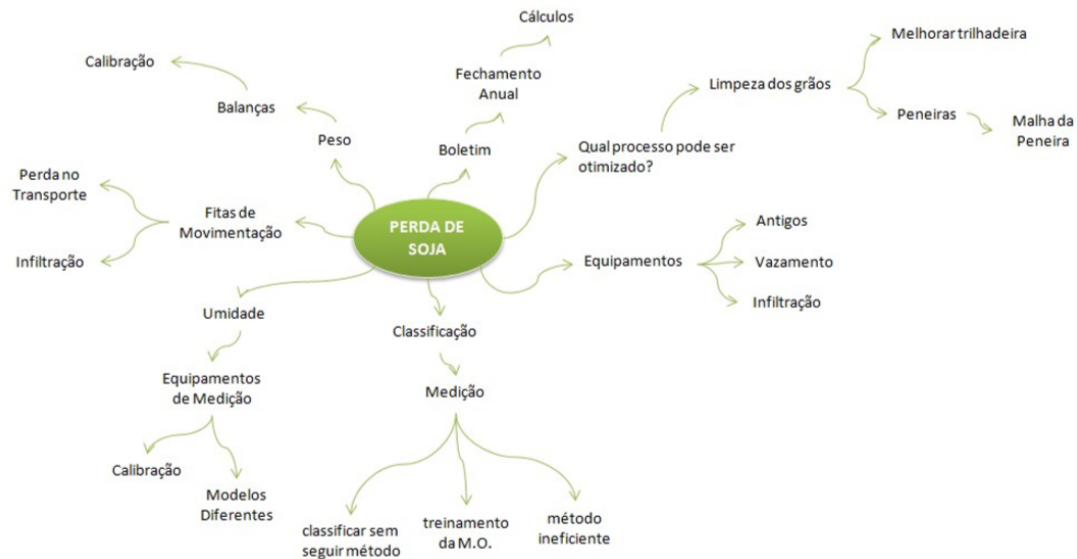
Fonte: Adaptado de Pyzdek (2003)

O uso do mapa de calor funciona como uma ferramenta para facilitar a visualização dos pontos de incidência dos defeitos, sejam estas degradações, montagem, defeitos de laminação, entre outros. Além disso, ajudam na identificação dos lugares, ferramentas, pessoas que podem ter com tais regiões e assim gerar os defeitos nas áreas de fabricação, como no exemplo da Figura 18, que mostra regiões mais impactadas por defeitos em uma indústria de produção de tênis.

4.3 ETAPA ANALISAR (*ANALYSE*)

Na Etapa Analisar as hipóteses de causas raízes do problema são identificadas por meio da análise dos dados e dos processos (WERKEMA, 2013; RODRIGUES, 2015a; PANDE; NEUMAN; CAVANAGH, 2007). Como ponto de partida para identificação das causas raízes, podem ser utilizadas sessões de *brainstorming* com os membros da equipe. A Figura 19 mostra um exemplo de um mapa mental desenvolvido por Biazetto e Chiroli (2016) que foi realizado de maneira a se ter um *brainstorm* de ideias para guiar o projeto realizado em uma indústria de beneficiamento de grãos.

Figura 19 – Exemplo de um mapa mental gerado por meio de sessões de *brainstorming* em uma indústria de beneficiamento de grãos.

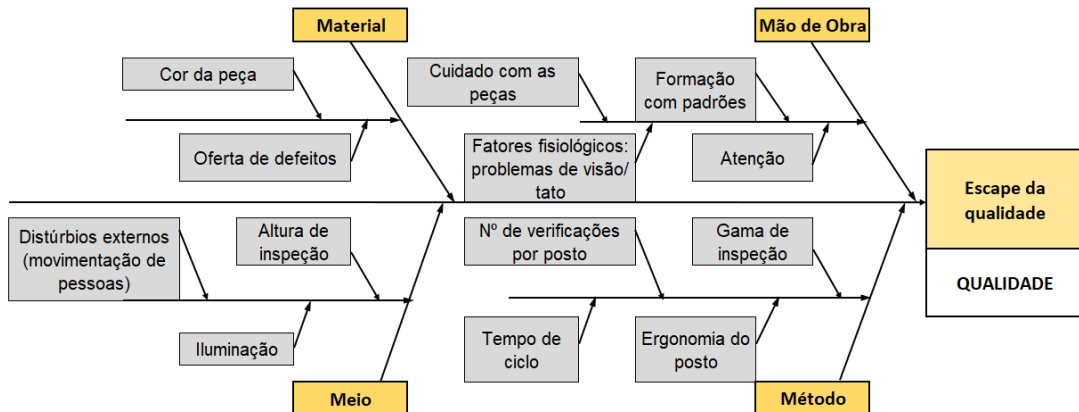


Fonte: Biazetto e Chirolí (2016)

A partir das ideias geradas nos *brainstormings*, podem ser tiradas algumas hipóteses para identificação das possíveis causas raízes do problema. Em uma indústria que produz produtos conformes e não conformes, as equipes de qualidade e retoque são fatores fundamentais na proteção dos clientes. Considerando que o objetivo principal seja a identificação das causas raízes secundárias já mencionadas no exemplo de recusas de peças não conformes, as sessões de *brainstorming* devem gerar ideias de maneira a orientar a otimização do desempenho destas equipes.

As ideias geradas nas sessões de *brainstorming* podem ser utilizadas para construção de um diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa. No diagrama de Ishikawa são levantadas possibilidades de causas para produção de determinado efeito. Segundo Kiran (2016), as categorias do diagrama de causa e efeitos podem variar a depender da aplicação pretendida. Em indústrias de manufatura normalmente se usa os 6M's (Máquina, Método, Material, Mão de Obra, Medição e Meio Ambiente), na indústria de *Marketing* usam-se os 7P's (Produto, Preço, Praça, Promoção, Pessoas, Processos e Percepção) e em indústrias de serviços se utilizam os 4P's (Políticas, Procedimentos, Processo e Pessoas). A Figura 20 apresenta um diagrama de Ishikawa orientado na identificação das causas raízes secundárias para a não detecção de 100% dos defeitos de uma equipe de qualidade em uma indústria de fabricação em foram avaliadas em uma variação dos 6M's, Máquina, Material, Meio e Mão de Obra.

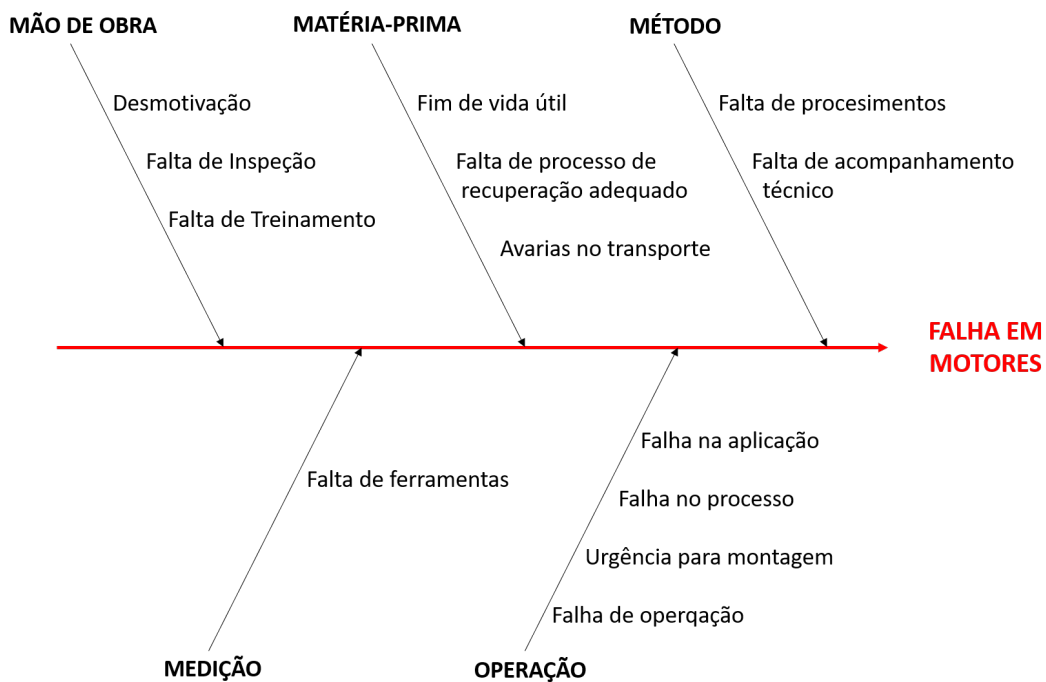
Figura 20 – Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito) para os escapes de defeitos pela equipe da qualidade.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Para ilustrar outra aplicação do diagrama de Ishikawa em um projeto baseado na estrutura do DMAIC, Figura 21 apresenta um diagrama de causa e efeito para as possíveis causas de produção de falhas em motores elétricos de locomotivas.

Figura 21 – Diagrama de Ishikawa (Diagrama de Causa e Efeito) para os falhas em motores elétricos de locomotiva.



Fonte: Silva (2012)

A partir disso, se o objetivo é eliminar totalmente o problema, deve-se investigar as causas raízes do problema, para isso pode se utilizar da ferramenta 5 Por quês. Nesta ferramenta, deve-se perguntar o porquê que tal efeito, aprofundando cada vez mais análise de maneira a levar ao porquê tal efeito foi gerado e assim traçar planos

de ações de maneira a eliminar tal problema (SAYER; WILLIAMS, 2012).

4.4 ETAPA MELHORAR (*IMPROVE*)

Na Etapa Melhorar são desenvolvidas ações que buscam reduzir e/ou eliminar as causas raízes do problema, reduzindo o custo de produção, diminuindo o não valor agregado e a variação do processo do sistema (RODRIGUES, 2015a; TAGHIZADEGAN, 2010).

Caso haja a produção de produtos ou peças não conforme dentro de um processo, talvez seja necessário reformular o posicionamento dos filtros de qualidade, de maneira a se detectar o quanto antes um defeito, para que seja feito o reparo imediato.

Além disso, a reatividade de tratamento dos defeitos também deve ser tratada. Avaliando pela perspectiva das equipes de retoques e de qualidade, é necessário que se trate os problemas oriundos destes locais. Se há a detecção de defeitos após um filtro de qualidade, aquele filtro deve ser trabalhado para que não escape nenhum defeito. A retroalimentação dos defeitos detectados para as equipes envolvidas pode ser feita por meio de círculos de qualidade, em que são discutidas possibilidades de melhoria e são repassados cada problema para reatividade e acompanhamento até estancagem.

A reatividade da equipe de qualidade pode ser feita através da formação dos operadores com os padrões de qualidade exigidos pela empresa e reciclagem destes operadores de tempos em tempos para atualização. Ou apenas realizando uma lição pontual de algum defeito ou anomalia não recorrente. Deve-se avaliar a qualidade dos postos de trabalhos que devem estar adequados para estes operadores, se não houver condições físicas que favoreçam a execução do trabalho, muitas anomalias serão encontradas nas etapas seguintes.

Já a reatividade para equipes de retoque, deve avaliar a causa raiz da geração de cada problema, uma vez que um operador retocador deve ser capaz de identificar os defeitos e repará-los sem que os mesmos passem para os filtros de qualidade da frente. Pode ser necessário a avaliação das condições das ferramentas, equipamentos, espaços de reparo e vestuário, e também deve-se ficar atento aos problemas gerados devido a comportamento, por exemplo o cuidado e comprometimento do operador.

Além disso, nas áreas de retoque e qualidade deve-se evitar o excesso de movimentação das peças, seguindo a lógica da redução de desperdícios proposto pela metodologia *Lean Manufacturing*. Uma ferramenta do *Lean Manufacturing* que deve ser utilizada para otimização dos espaços é o 5S (utilização, organização, limpeza, saúde e autodisciplina), de maneira a melhorar a gestão visual dos espaços do setor. A aplicação fiel das ferramentas do 5S auxiliam no dia a dia no ganho de performance (tempo) e na percepção de anomalias, portanto sua utilização auxilia na evolução da qualidade, eficiência e bem-estar (CAMARGO, 2016). Para ilustrar o uso do 5S, a Fotografia 1 mostra o antes e o depois da aplicação da ferramenta em uma divisão de motores de uma indústria de aeronáutica (MOREIRA et al., 2011). A Fotografia 2 mostra uma área manutenção automotiva antes e após a aplicação no senso de utilização do 5S para as peças obsoletas que ainda podem ser comercializadas (MIZDAL, 2017).

Fotografia 1 – Melhorias: resultado da aplicação do 5S.



Fonte: Moreira et al. (2011).

Fotografia 2 – Melhorias: gestão visual através da aplicação do 5S na área de manutenção automotiva.



Fonte: Mizdal (2017)

Se o projeto incluir áreas de manufatura, também podem ser realizadas me-

lhorias nas ferramentas utilizadas. Em indústrias automotivas que realizam fixações, nas áreas de reparo são encontradas parafusadeiras. Por isso, pode ser necessário proteger estas ferramentas para que estejam adequadas para a não depreciação das peças produzidas. Por isso, a depender do produto, pode ser necessário a utilização de proteções, como a proteção de silicone da Fotografia 3.

Fotografia 3 – Melhorias: Proteção dos equipamentos e parafusadeiras.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A manipulação constante das peças, produtos, veículos dentro de uma indústria pode favorecer a ocorrência de incidentes que podem levar geração de novos defeitos e distração das equipes de qualidade e retoque. A Figura 22 mostra exemplos de placas desenvolvidas para indústrias automotivas de maneira a controlar o fluxo de veículos e pessoas e alertar quanto aos riscos de acidentes das áreas. Caso não haja alertas como estes, pode ser desenvolvido ou comprados placas de controle de fluxo a depender da necessidade da área.

Figura 22 – Melhorias: Utilização de placas de controle para fluxo e segurança.

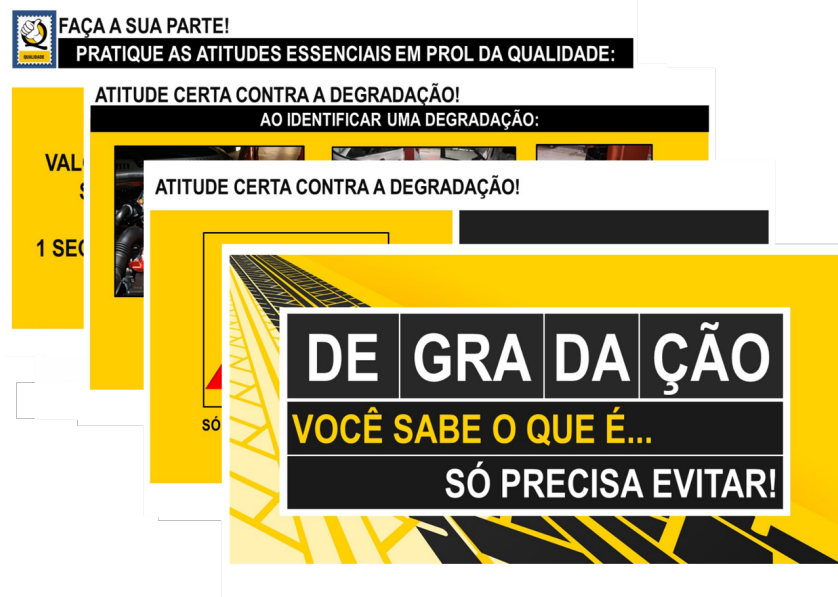


Fonte: Autoria Própria (2019).

Além disso, sugere-se a utilização de *Check Lists* de Pontos Críticos que devem ser avaliados constantemente. A utilização destes *Check Lists* favorecem o controle e reação à anomalias de modo rápido, além de auxiliar na identificação das causas geradoras das problemas.

Na tratativa de defeitos em indústrias de manufatura ou fabricação é necessário que além do tratamento dos problemas crônicos do fluxo, da padronização do uso de proteções, do controle de pontos específicos de geração de defeitos, problemas nas máquinas, equipamentos ou ferramentas, sejam feitas ações de mudança de comportamento para todos da empresa. Para que os mesmos estejam mais inteirados dos problemas que ocorrem no dia a dia e auxiliem na detecção e eliminação das causas raízes de geração de defeitos. A Figura 23 mostra parte de slides de uma apresentação desenvolvida no intuito de sensibilizar os operadores quanto a degradação de produtos dentro de uma empresa x.

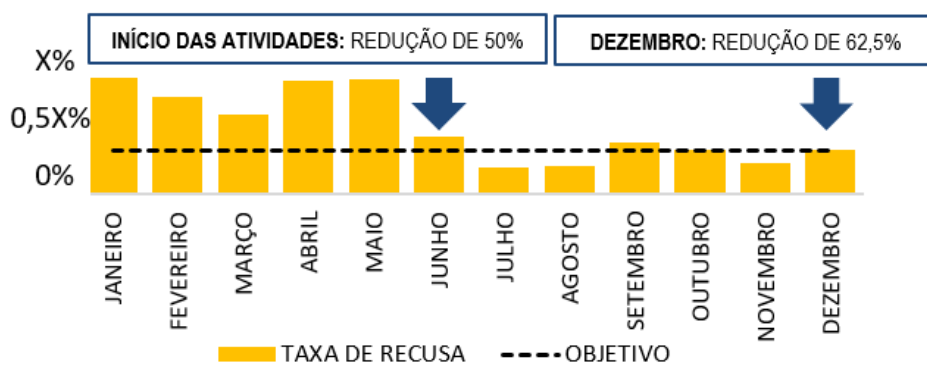
Figura 23 – Melhorias: Orientação para retocadores e inspetores de qualidade.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Se a ocorrência de recusas de produtos não conformes tiver o resultado esperado na definição dos objetivos da Etapa Definir, como mostrado na Gráfico 7, a reatividade destes defeitos não podem ficar apenas nas causas raízes secundárias e deve ser estendida para as equipes de montagem ou produção para que se identifique as causas geradoras e elimine os problemas.

Gráfico 7 – Evolução da taxa de recusa de uma peça Y por mês.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Além disso, gráficos como o Gráfico 7 são importantes por mostrarem o resultado obtido com o trabalho realizado. E podem ser usados para o acompanhamento do resultado.

4.5 ETAPA CONTROLAR (CONTROL)

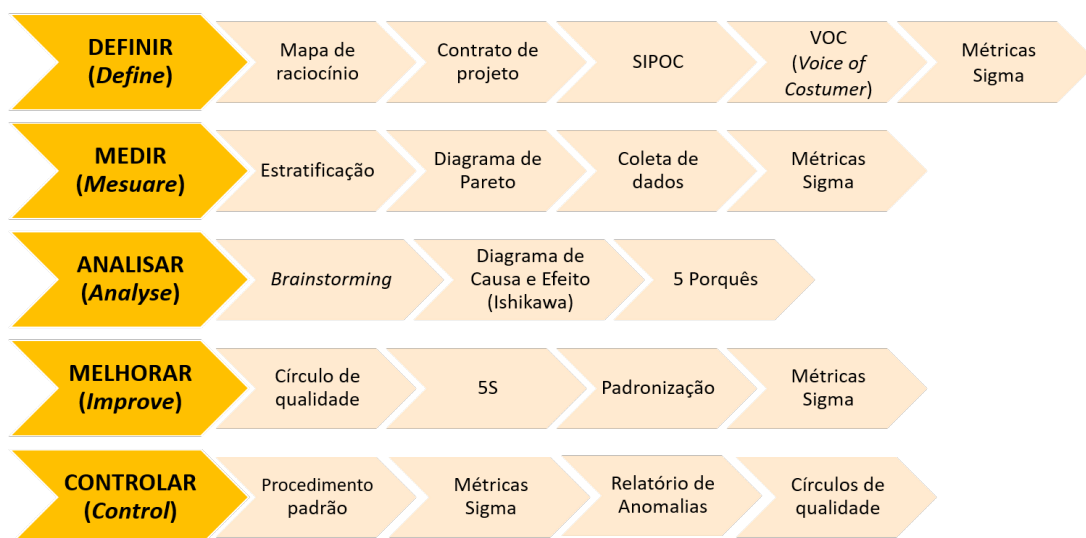
De maneira a se preservar o resultado alcançado, a proposta de retroalimentação dos defeitos recusados deve ser mantida mesmo que os indicadores tenham alcançado os níveis adequados. As áreas de produção devem estar informadas e devem tratar os problemas assim como a qualidade e o retoque.

Para isso, círculos de qualidade devem continuar sendo executados de maneira que se busque sempre a melhoria contínua. Em associação com os CQ, todos os departamentos envolvidos devem receber relatórios de anomalias que ajudarão a identificar algum desvio importante no indicador de seguimento, ou nas métricas sigma utilizadas. Além disso, de maneira a evitar variações, as atividades padronizadas devem ser documentadas através de procedimentos padrões.

A execução das etapas do DMAIC e o desenvolvimento de ações em parceria com todos os departamentos da fábrica podem trazer ganhos consideráveis para a redução de retrabalhos na etapa final de uma indústria de fabricação.

Uma visão geral das ferramentas indicadas para utilização nas etapas do DMAIC é exposta na Figura 24. A proposta metodológica apresentada fornece um guia simples e prático que pode ser utilizado em diversos setores, mesmo por pessoas que não tem a certificação *Green Belt* ou *Black Belt*.

Figura 24 – Resumo das ferramentas sugeridas para aplicação em cada etapa do DMAIC do Lean Seis Sigma.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Percebe que as ferramentas da qualidade e da metodologia *Lean Seis Sigma*, associadas corretamente à cada etapa do DMAIC podem trazer ganhos expressivos para as mais variadas áreas do setor industrial como foi demonstrado nos trabalhos mostrados no seção 2.5, inclusive em áreas de retoque, qualidade, em indústrias de processo e até no setor de serviço.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O Seis Sigma e o *Lean Seis Sigma* são metodologias que fornecem uma estrutura bem definida para a melhoria da qualidade e performance tanto para indústrias de manufatura como para as prestadoras de serviços. O direcionamento das melhorias dentro da metodologia é definido a partir das expectativas dos clientes e da análise aprofundada de dados (GOH, 2011).

Apesar dos resultados positivos da aplicação do *Lean Seis Sigma* em algumas indústrias e projetos, a metodologia enfrenta dificuldades de aplicação em algumas indústrias. Uma delas está relacionada à dificuldade de acesso aos materiais sobre a metodologia, assim como fazem com outros métodos, limitando-se a profissionais certificados (*Black Belts* e *Green Belts*).

Desta maneira, conclui-se que este trabalho atingiu seu objetivo desenvolvendo uma proposta de metodologia baseado na estrutura DMAIC que pode ser utilizada em vários setores para a melhoria de indicadores de qualidade, principalmente indicadores de recusa de peças não conformes em indústrias de fabricação.

Como possíveis trabalhos futuros indica-se a implementação desta metodologia nos setores industrial e de serviços para determinação da eficácia da aplicação da mesma. Para melhoria de indicadores de recusa, sugere-se a implementação desta proposta em indústrias de fabricação que tenham recusas de peças não conformes pela presença de defeitos provenientes do processo. Além do desenvolvimento da metodologia proposta para que se inclua novas ferramentas que poderão complementar este trabalho e tornar a análise ainda mais acurada.

REFERÊNCIAS

ADAMS, Cary; GUPTA, Praveen; WILSON, Charlie. **Six sigma deployment**. [S.l.]: Routledge, 2007. Citado 6 vezes nas páginas 27, 31, 32, 34, 48 e 49.

AGUIAR, Silvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma**. [S.l.]: Editora de Desenvolvimento Gerencial Belo Horizonte, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 34.

AIZED, Tauseef. **Total quality management and six sigma**. [S.l.]: BoD–Books on Demand, 2012. Citado na página 10.

ANTONY, Jiju. A swot analysis on six sigma: some perspectives from leading academics and practitioners. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Emerald Group Publishing Limited, v. 61, n. 6, p. 691–698, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 28, 34 e 35.

ANTONY, Jiju; BANUELAS, Ricardo. Key ingredients for the effective implementation of six sigma program. **Measuring business excellence**, MCB UP Ltd, v. 6, n. 4, p. 20–27, 2002. Citado 4 vezes nas páginas 24, 30, 31 e 34.

BARNEY, Matt. Motorola's second generation. In: **Six Sigma Forum Magazine**. [S.l.: s.n.], 2002. v. 1, n. 3, p. 13–16. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

BIAZETTO, Fernanda; CHIROLI, Daiane Maria de Genaro. Aplicação da metodologia seis sigma para redução de perda na transferência da soja em uma unidade beneficiadora de grãos. **Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP**, v. 11, n. 1, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 53 e 54.

CAMARGO, Wellington. Controle de qualidade total. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - Paraná. Curitiba - PR**, 2016. Citado na página 57.

CONCEIÇÃO, Rodrigo Subirá; CHIROLI, Daiane Maria De Genaro. Lean seis sigma aplicado no setor de recebimento de grãos de uma cooperativa agroindustrial. **Trabalhos de Conclusão de Curso do DEP**, v. 12, n. 1, 2017. Citado na página 44.

DAFT, Richard L; MURPHY, Jonathan; WILLMOTT, Hugh. **Organization theory and design**. [S.l.]: Cengage learning EMEA, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

DOMINGUES, João Pedro Diogo. **Aplicação de ferramentas lean e seis sigma numa indústria de sistemas de fixação**. 2013. Tese (Doutorado) — Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2013. Citado na página 45.

DONIN, Marcelo. **Proposta de melhoria baseada na metodologia DMAIC em uma unidade de pronto atendimento de saúde**. 2018. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 45 e 46.

FERNANDES, Waldir Algarte. O movimento da qualidade no brasil. Essencial Idea Publishing, 2011. Citado na página 12.

FIRKA, Daniel. Six sigma: an evolutionary analysis through case studies. **The TQM Journal**, Emerald Group Publishing Limited, v. 22, n. 4, p. 423–434, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

FOLARON, Jim. The evolution of six sigma. ASQ, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

GARVIN, David A. Product quality: An important strategic weapon. **Business horizons**, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 40–43, 1984. Citado na página 10.

GIJO, EV; PALOD, Raniprasad; ANTONY, Jiju. Lean six sigma approach in an indian auto ancillary conglomerate: a case study. **Production Planning & Control**, Taylor & Francis, v. 29, n. 9, p. 761–772, 2018. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

GIJO, EV; RAO, Tummala S. Six sigma implementation—hurdles and more hurdles. **Total Quality Management & Business Excellence**, Taylor & Francis, v. 16, n. 6, p. 721–725, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 12, 23 e 34.

GODFREY, A Blanton et al. The honeywell edge. In: ASQ. **Six Sigma Forum Magazine**. [S.l.], 2002. v. 1, n. 2. Citado na página 25.

GOH, TN. Six triumphs and six tragedies of six sigma. **Quality Engineering**, Taylor & Francis, v. 22, n. 4, p. 299–305, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 35.

_____. Six sigma in industry: some observations after twenty-five years. **Quality and Reliability Engineering International**, Wiley Online Library, v. 27, n. 2, p. 221–227, 2011. Citado 4 vezes nas páginas 29, 30, 49 e 63.

GORDON, Joseph MJ. **Six Sigma quality for business and manufacture**. [S.l.]: Elsevier, 2002. Citado 5 vezes nas páginas 24, 25, 26, 30 e 42.

JESUS, Abel Ribeiro de et al. Key observations from a survey about six sigma implementation in brazil. **International Journal of Productivity and Performance Management**, Emerald Group Publishing Limited, v. 64, n. 1, p. 94–111, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 25.

KIRAN, DR. **Total quality management: Key concepts and case studies**. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2016. Citado na página 54.

MELTON, Trish. The benefits of lean manufacturing: what lean thinking has to offer the process industries. **Chemical engineering research and design**, Elsevier, v. 83, n. 6, p. 662–673, 2005. Citado 5 vezes nas páginas 14, 15, 16, 17 e 18.

MIZDAL, Rafael Hamerski. Aplicação da ferramenta 5s no setor de manutenção automotiva. 2017. Citado na página 57.

MOREIRA, Sónia Patrícia da Silva et al. **Aplicação das ferramentas lean: caso de estudo**. 2011. Tese (Doutorado), 2011. Citado na página 57.

MOTWANI, Jaideep. A business process change framework for examining lean manufacturing: a case study. **Industrial Management & Data Systems**, MCB UP Ltd, v. 103, n. 5, p. 339–346, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

NASCIMENTO, André Lopes do. **Seis sigma numa indústria do setor automotivo**. 2004. Tese (Doutorado) — EPUSP, 2004. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

OHNO, Taiichi. **O sistema Toyota de produção além da produção**. [S.l.]: Bookman, 1997. Citado 6 vezes nas páginas 15, 16, 17, 20, 22 e 23.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira de. Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração. **Universidade Federal de Goiás. Catalão–GO**, 2011. Citado na página 37.

PANDE, Peter S; NEUMAN, Robert P; CAVANAGH, Roland. **Estratégia Seis Sigma: como a GE, Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho**. [S.l.]: Qualitymark Editora Ltda, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 53.

PUGNA, Adrian; NEGREA, Romeo; MICLEA, Serban. Using six sigma methodology to improve the assembly process in an automotive company. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, Elsevier, v. 221, p. 308–316, 2016. Citado na página 35.

PYZDEK, Thomas. **The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Greenbelts, Blackbelts, and Managers at All Levels, Revised and Expanded Edition**. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 2003. Citado 4 vezes nas páginas 27, 30, 42 e 53.

RIBEIRO, Haroldo. **5S: um roteiro para uma implantação bem sucedida**. [S.l.]: Quality House, 1994. Citado na página 20.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo qualidade padrão seis sigma**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 28, 34, 53 e 56.

RODRIGUES, Marcus Vinicius. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistemas de produção Lean Manufacturing**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2015. Citado 7 vezes nas páginas 15, 17, 18, 19, 20, 21 e 22.

ROTONDARO, Roberto G et al. Seis sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. **São Paulo: Atlas**, 2002. Citado 4 vezes nas páginas 25, 30, 31 e 32.

SAYER, Natalie J; WILLIAMS, Bruce. **Lean for dummies**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2012. Citado 8 vezes nas páginas 14, 18, 19, 20, 21, 22, 23 e 56.

SCHROEDER, Roger G et al. Six sigma: Definition and underlying theory. **Journal of operations Management**, Elsevier, v. 26, n. 4, p. 536–554, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

SHINGO, Shigeo. **O sistema Toyota de produção**. [S.l.]: Bookman Editora, 1996. Citado na página 17.

SILVA, Edson Aguiar da. Aplicação da confiabilidade utilizando dmaic seis sigma em motores elétricos de locomotiva. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Citado na página 55.

SILVA, Manuele Caroline Reis. **Análise de preferências negativas para atendimento às expectativas de clientes em serviços: estudo de caso no segmento de transporte de passageiros**. 2017. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 47 e 48.

SRINIVASAN, K.; MUTHU, S.; DEVADASAN S.R., Sugumaran C. **Enhancement of sigma level in the manufacturing of furnace nozzle through DMAIC approach of Six Sigma: a case study**. [S.l.]: Production Planning and Control, 2016. 810–822 p. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.

TAGHIZADEGAN, Salman. **Essentials of lean six sigma**. [S.l.]: Elsevier, 2010. Citado 5 vezes nas páginas 26, 29, 45, 50 e 56.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção. **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI**, 2012. Citado na página 37.

WERKEMA, Cristina. **Lean seis sigma**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2011. Citado na página 15.

_____. **Criando a cultura lean seis sigma**. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2013. Citado 12 vezes nas páginas 10, 12, 24, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 34, 46 e 53.

WILSON, Lonnie. **How to implement lean manufacturing**. [S.l.]: McGraw-Hill New York, 2010. Citado 5 vezes nas páginas 18, 19, 20, 21 e 22.

WINKLEMAN, Michael. Time to do or die. **Journal of Business Strategy**, MCB UP Ltd, v. 14, n. 5, p. 19–29, 1993. Citado na página 10.

WINTER, Mark; CHECKLAND, Peter. Soft systems: a fresh perspective for project management. In: THOMAS TELFORD LTD. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Civil Engineering**. [S.l.], 2003. v. 156, n. 4, p. 187–192. Citado na página 37.

WOMACK, James P; JONES, Daniel T. **A máquina que mudou o mundo**. [S.l.]: Editora Campus, 1992. Citado 4 vezes nas páginas 14, 15, 19 e 20.

_____. Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. **Journal of the Operational Research Society**, Taylor & Francis, v. 48, n. 11, p. 1148–1148, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

ZHANG, Min et al. Comprehensive six sigma application: a case study. **Production Planning & Control**, Taylor & Francis, v. 26, n. 3, p. 219–234, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 35 e 36.