

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO  
ANDERSON DA SILVA CORREIA

GESTÃO DA QUALIDADE – ESTUDO DE VIABILIDADE NA  
APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO DMAIC, NO DIAGNÓSTICO DE  
FALHAS E OPORTUNIDADES DE MELHORIA

São Paulo  
2013

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO  
ANDERSON DA SILVA CORREIA

GESTÃO DA QUALIDADE – ESTUDO DE VIABILIDADE NA  
APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS DO DMAIC, NO DIAGNÓSTICO DE  
FALHAS E OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Monografia apresentada à Faculdade de  
Tecnologia de São Paulo para obtenção  
do título de Especialista em  
Gerenciamento de Projetos, com  
orientação da Prof<sup>ª</sup>. Dra. Fernanda Maria  
P. F. Ramos Ferreira

São Paulo  
2013

## FICHA CATALOGRÁFICA

Correia, Anderson da Silva

Gestão da qualidade – Estudo de viabilidade na aplicação de ferramentas do DMAIC, no diagnóstico de falhas e oportunidades de melhoria.

Trabalho de conclusão de curso (pós-graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, Curso de Gerenciamento de Projetos, 2013.

1. Gerenciamento da Qualidade. 2. DMAIC. 3. Montagem de placas eletrônicas. 4. Curso de Pós Graduação I. FATEC – Faculdade de Tecnologia de São Paulo. Pós Graduação. Gerenciamento de Projetos.

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus, que me deu muita força e às pessoas que sempre estiveram ao meu lado em cada momento de dificuldade e me auxiliaram a superá-los. A minha amada esposa Ellen, minha família pela relação de amor, amizade, companheirismo que temos e que tem um valor inestimável.

## AGRADECIMENTOS

A professora e doutora Fernanda Maria P. F. Ramos Ferreira, pela orientação e pelo constante estímulo transmitido durante todo o trabalho.

A empresa Infolev Elevadores & Informática LTDA pela parceria e colaboração no desenvolvimento dessa dissertação.

A empresa VRE montagens de placas eletrônicas, pelo fornecimento de dados e informações.

A família, amigos e todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

## RESUMO

O objetivo desta monografia é o de realizar um estudo de viabilidade na aplicação de ferramentas da metodologia DMAIC na melhoria de processos, no diagnóstico de falhas e oportunidade de melhoria em uma única empresa. Além da pesquisa bibliográfica, foi realizado um estudo de caso na variabilidade dos erros encontrados no processo de fabricação e montagem de placas eletrônicas, concluído com algumas sugestões de melhorias.

**Palavras-chaves:** Gerenciamento da Qualidade, DMAIC, Montagem de Placas Eletrônicas.

## ABSTRACT

The purpose of this monograph is to conduct a feasibility study on the application of tools of DMAIC process improvement, fault diagnosis and opportunity for improvement in a single company. Besides the literature, we conducted a case study on the variability of errors encountered in the process of manufacture and assembly of electronic boards, complete with some suggestions for improvements.

**Keywords:** Quality Management, DMAIC, Assembly Electronic Boards.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1: Distribuição Normal.....	25
Ilustração 2: Representação do deslocamento de 1,5 sigma da média do processo.....	27
Ilustração 3: Melhoria do processo.....	38
Ilustração 4: Árvore CPQ de três níveis para um processo de serviço de quarto.....	42
Ilustração 5: Exemplo de diagrama SIPOC – Tirando uma cópia.....	44
Ilustração 6: Diagrama de causa e efeito.....	46
Ilustração 7: Fluxograma do desenvolvimento do trabalho,.....	57
Ilustração 8: Árvore CPQ dos colaboradores internos, conforme o autor Eckes.....	60
Ilustração 9: SIPOC do processo da empresa em análise, conforme o autor Eckes.....	61
Ilustração 10: Fluxo de manipulação das placas.....	62
Ilustração 11: Média de defeitos por lote.....	66
Ilustração 12: Diagrama de Causa e Efeito sobre as falhas de montagem.....	67



**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Os cinco grupos de processos do gerenciamento de projetos.....18

Tabela 2: Distribuição normal centralizada/descentralizada X qualidade sigma.....27

Tabela 3: Resumo do método DMAIC.....29

Tabela 4: Formulário básico FMEA.....48

Tabela 5: Funcionários que participaram do projeto.....59

Tabela 6: Placas com defeito no lote.....64

Tabela 7: Tipos de defeito.....65

Tabela 8: FMEA parte 1.....70

Tabela 9: FMEA parte 2.....70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GE	Empresa “ <i>General Electric</i> ”.
DMAIC	Fases da metodologia DMAIC:  “ <i>Define the problem</i> ”: definição do problema a partir de opiniões de consumidores e objetivos do projeto;  “ <i>Measure key aspects</i> ”: mensurar os principais aspectos do processo atual e coletar dados importantes;  “ <i>Analyse the data</i> ”: analisar os dados para investigar relações de causa e efeito. Certificando que todos os fatores foram considerados, determinar quais são as relações. Dentro da investigação, procurar a causa principal dos defeitos;  “ <i>Improve the process</i> ”: melhorar e otimizar o processo baseada na análise dos dados usando técnicas como desenho de experimentos, prova de erros, e padronizar o trabalho para criar um estado de processo. Executar pilotos do processo para estabelecer capacidades;  “ <i>Control</i> ”: controlar o futuro estado de processo para se assegurar que quaisquer desvios do objetivo sejam corrigidos antes que se tornem em defeitos. Implementar sistemas de controle como um controle estatístico de processo ou quadro de produções, e continuamente monitorar os processos.
CPQ	Árvore do que é crítico para a qualidade
SIPOC	“ <i>Suppliers</i> ” (Fornecedores) – “ <i>Inputs</i> ” (Entradas) – “ <i>Process</i> ” (Processo) – “ <i>Outputs</i> ” (Saídas) – “ <i>Customer</i> ” (Clientes).  Análise do modo e do efeito de falha, do inglês “ <i>Failure Mode and Effect Analyses</i> ”.
FMEA	É uma ferramenta qualitativa de caráter preventivo, que analisa como um produto ou processo, industrial ou administrativo, pode fracassar em atender os requisitos dos clientes, quais as causas da falhas e como eliminá-las.
DPMO	Defeitos por milhão de oportunidades.
ppm	Parte por milhão.
dpm	Defeitos por milhão.
LIE	Limite inferior de especificação.
LSE	Limite superior de especificação.
CTQ(s)	Características críticas para a qualidade, que vem do inglês ( <i>Critical to Quality</i> – CTQ).
VOC	“Voz do Cliente”, do inglês ( <i>voice of customer</i> ). Estratégia e

sistema de coletar dados sobre as necessidades dos clientes.

Componentes em PTH	Montagem <i>through-hole</i> , também denominada tecnologia <i>through-hole</i> ou simplesmente <i>thru-hole</i> , refere-se a um esquema de montagem usado em componentes eletrônicos e que envolve o uso de pinos dos componentes que são inseridos em buracos abertos nas PCBs e soldados a superfícies no lado oposto. Esses componentes são geralmente chamados de componentes PTH ( <i>pin through hole</i> ).
SMD	Tecnologia de montagem superficial (ou SMT, do nome em inglês) é um método de montagem de circuitos eletrônicos nos quais os componentes (SMC, ou <i>Surface Mounted Components</i> ) são montados diretamente sobre a superfície da placa de circuito impresso (PCB), permitindo o aproveitamento de ambas as faces. Dispositivos eletrônicos produzidos desta forma são denominados dispositivos de montagem superficial ou SMDs.
(NPR)	Número de prioridade de risco.
(S)	Índice de severidade.
(O)	Índice de ocorrência.
(D)	Índice de prioridade de risco.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 PROBLEMA.....	13
1.3 OBJETIVO.....	14
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	14
1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	15
1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO.....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>16</b>
2.1 CONCEITO DE GESTÃO DE PROJETOS.....	16
2.2 DEFINIÇÃO DE GESTÃO DA QUALIDADE.....	20
2.3 SEIS SIGMA.....	22
2.4 SEIS SIGMA: DEFINIÇÃO E DESCRIÇÃO.....	23
2.5 DMAIC.....	28
2.5.1 FASE: DEFINIR.....	30
2.5.2 FASE: MEDIR.....	31
2.5.3 FASE: ANALISAR.....	34
2.5.3.1 ANÁLISE DOS DADOS.....	34
2.5.3.2 ANÁLISE DO PROCESSO.....	35
2.5.3.3 ANÁLISE DA RAIZ DO PROBLEMA.....	36
2.5.3.4 VALIDAÇÃO DA RAIZ DO PROBLEMA.....	37
2.5.4 FASE: MELHORAR.....	37
2.5.5 FASE: CONTROLAR.....	40
2.6 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS E DA QUALIDADE.....	41
2.6.1 ÁRVORE CPQ.....	41
2.6.2 SIPOC.....	43
2.6.3 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO.....	45
2.6.4 FMEA.....	47
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>51</b>
3.1 MÉTODO DE PESQUISA.....	52
<b>4 ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>53</b>
4.1 SOBRE A INFOLEV.....	53
4.1.1 UM POUCO DE HISTÓRIA SOBRE A INFOLEV.....	55
4.1.2 DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DE PLACAS ELETRÔNICAS.....	56
4.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	56
4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC.....	57
4.3.1 FASE DEFINIR.....	58
4.3.1.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DEFINIR.....	58
4.3.1.2 IDENTIFICAÇÃO DA OPORTUNIDADE DE MELHORIA.....	59
4.3.2 FASE MEDIR.....	63
4.3.2.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MEDIR.....	63
4.3.3 FASE ANALISAR.....	66
4.3.3.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA ANALISAR.....	66
4.4 SUGESTÕES DE MELHORIA.....	71
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>72</b>
5.1 LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	73
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO NÃO ESTRUTURADO.....</b>	<b>77</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A maneira voraz com que ocorre as transformações tecnológicas, sociais e econômicas tem obrigado as empresas a se manterem flexíveis e ágeis frente aos novos obstáculos. O antigo paradigma de produção em massa (taylorista – fordista) é substituído pelas premissas da produção enxuta e por eficazes métodos de gestão, mais adaptáveis às escalas de produção e às mudanças de mercado.

O atual contexto de mercado é caracterizado por uma crescente competitividade, pela redução de prazos na elaboração dos projetos, execução e preocupação de integração da cadeia produtiva. Essa conjuntura fez com que os diversos agentes intervenientes nessa cadeia concentrassem sua atenção – tardiamente com relação a outros segmentos industriais – na implementação de sistemas de gestão e/ou garantia da qualidade.

Atualmente, dentro da gestão da qualidade aplicada na melhoria de processos, existem uma série de ferramentas para realizar o controle da qualidade em produtos e serviços.

A metodologia Seis Sigma é uma evolução destas estratégias, pois revolucionou a maneira de utilizar diversas ferramentas e conceitos já conhecidos em outros programas. Estas ferramentas estatísticas e outras ferramentas de qualidade, são aplicadas em um modelo conhecido pela sigla DMAIC (definir, medir, analisar, melhorar e controlar) que é um método utilizado para a melhoria dos processos.

Estas técnicas são utilizadas para medir, analisar, incrementar e controlar os processos, com o intuito de reduzir a variabilidade e consequentemente obter níveis surpreendentes de qualidade.

## **1.2 PROBLEMA**

O problema da pesquisa, pode ser centrado na seguinte questão:

“Como a empresa em análise não conhece as principais falhas envolvendo seu processo de fabricação, gerando baixos níveis de qualidade na fabricação e

montagem de suas placas eletrônicas?”

“Porque não efetuar um estudo aprofundado sobre essas falhas, afim de identificá-las e obter melhorias?”

### **1.3 OBJETIVO**

O objetivo desta monografia é o de realizar um estudo de viabilidade na aplicação de ferramentas da metodologia DMAIC na melhoria de processos, no diagnóstico de falhas e oportunidade de melhoria em uma única empresa.

Para isso os objetivos são:

- a) Estudar a metodologia e os procedimentos do método DMAIC, para realizar o diagnóstico e análise nas oportunidades de melhoria nos processos;
- b) Dentro desta metodologia, quais são as ferramentas mais adequadas neste objetivo;
- c) Desenvolver um plano de melhoria em um problema específico, gerando ou não oportunidades de melhoria;
- d) Avaliar os resultados e identificar os benefícios potenciais que podem ser obtidos.

### **1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA**

A metodologia do trabalho baseou-se em pesquisa exploratória e técnicas de coleta de dados.

A pesquisa exploratória consistiu em pesquisa bibliográfica, para desenvolver o estudo de caso desta pesquisa.

Em seguida, para a realização da coleta de dados foram utilizados os relatórios de falhas internas, encontradas durante o processo de teste e homologação das placas, focalizadas no estudo de caso único.

As entrevistas focalizadas basearam-se em um questionário não estruturado, contendo os tópicos sobre o tema estudado, sendo possível não abordar algumas questões pré-definidas e incluir novas questões considerando a evolução das entrevistas.

Para realização deste trabalho, foi solicitada autorização ao presidente da

empresa pessoal e verbalmente, comunicando-lhe o projeto deste trabalho para sua análise. A empresa autoriza a utilização de seus dados para fins acadêmicos, desde que sua imagem não seja denegrida em hipótese alguma.

### ***1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA***

Considerando o objetivo desse trabalho, que é de realizar um estudo de viabilidade na aplicação de ferramentas da metodologia DMAIC na melhoria de processos, no diagnóstico de falhas e oportunidade de melhoria, no entanto, a implementação das ações que aqui serão sugeridas, ainda não foram implantadas.

### ***1.6 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO***

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura com os conceitos básicos sobre projeto, ciclo de vida do projeto e a metodologia DMAIC.

O terceiro capítulo trata da metodologia da pesquisa.

O quarto capítulo apresenta a análise do estudo caso, com o levantamento de informações, identificando oportunidades de melhoria, análise dos dados, causas do problema e sugestões de melhoria.

Por fim, o capítulo cinco apresenta as conclusões e as limitações da pesquisa.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

Antes de abordarmos os conceitos desta pesquisa e desenvolvermos seus objetivos, é preciso compreender os conceitos gerais sobre gestão de projetos.

### **2.1 CONCEITO DE GESTÃO DE PROJETOS**

Antes de abordar o conceito gerenciamento da qualidade em projetos, é preciso compreender os conceitos de projeto e de gestão de projetos:

“Um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. A sua natureza temporária indica um início e um término definidos” (PMI, 2008, p. 5).

Além desta definição, o PMI (2008) explica que os projetos podem empreendidos em todos os níveis organizacionais e que podem envolver uma única pessoa ou uma única área, ou, várias áreas diferentes da organização.

O autor Vargas (2009) define o projeto como um empreendimento não repetitivo com uma sequência clara e lógica de eventos, com início, meio e fim e que é conduzido por pessoas seguindo os parâmetros de tempo, custo, e qualidade predefinidos a fim de alcançar um resultado que deve ser claro e definido.

Complementando a definição anterior, Kerzner (2004, p.15) diz que “um projeto é um empreendimento com objetivo bem definido, que consome recursos e opera sob pressões de prazos, custo e qualidade”.

Na opinião do autor, hoje, os projetos estão se tornando cada vez maiores e mais complexos e, conseqüentemente, o papel do gerente de projetos tem se tornado mais o de integrador do que o de um especialista técnico, por isso, o autor tem a seguinte opinião sobre a gestão de projetos:

“Assim, a gestão de projetos pode ser definida como o planejamento, a programação e o controle de uma série de tarefas integradas de forma a atingir seus objetivos com êxito, para benefício dos participantes do projeto”(KERZNER, 2004, p. 15).

Para complementar o conceito de gerenciamento de projetos, segue a definição abaixo:



Gerenciamento de projetos é um conjunto de ferramentas gerenciais que permitem que a empresa desenvolva um conjunto de habilidades, incluindo conhecimento e capacidades individuais, destinadas ao controle de eventos não repetitivos, únicos e complexos, dentro de um cenário de tempo, custo e qualidade predeterminados(VARGAS, 2009, p. 7).

Pode-se consolidar o conceito de gerenciamento de projetos com a definição do PMI:

Gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimento, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de atender aos seus requisitos. O gerenciamento de projetos é realizado através da aplicação e integração dos 42 processos agrupados logicamente abrangendo os cinco grupos de processos que são: iniciação, planejamento, execução, monitoramento e controle e encerramento (PMI, 2008, p. 6).

Para compreender a definição de gerenciamento de projetos do PMI, também é necessário conhecer a definição de processo:

Um processo é um conjunto de ações e atividades inter-relacionadas, que são executadas para alcançar um produto, resultado ou serviço predefinido. Cada processo é caracterizado por suas entradas, as ferramentas e as técnicas que podem ser aplicadas e as saídas resultantes [...] Devem ser considerados para todos os processos, mesmo que não estejam explicitamente listados como entradas na especificação do processo. Os ativos de processos organizacionais fornecem diretrizes e critérios para adaptação dos processos da organização às necessidades específicas do projeto. Os fatores ambientais da empresa podem restringir as opções de gerenciamento do projeto (PMI, 2008, p. 37).

O gerenciamento de projetos deve ocorrer de forma integrada, conectando cada processo para que o projeto seja bem-sucedido, atingindo o resultado pretendido.

Vargas (2009, p.15) comenta, ainda, que “um projeto bem-sucedido é aquele que é realizado conforme o planejado”.

A tabela 1 ilustra os cinco grupos de processos e seus principais subprocessos.

Tabela 1: Os cinco grupos de processos do gerenciamento de projetos

Processos de área de Conhecimento	Grupos de processos de gerenciamento de projetos				
	Iniciação	Planejamento	Execução	Monitoramento e Controle	Encerramento
<b>Integração</b>	4.1 - Desenvolver o termo de abertura do projeto	4.2 - Desenvolver o plano de gerenciamento do projeto	4.3 - Orientar e gerenciar a execução do projeto	4.4 - Monitorar e controlar o trabalho do projeto 4.5 - Realizar o controle integrado de mudanças	4.6 - Encerrar o projeto ou fase
<b>Escopo</b>		5.1 - Coletar Requisitos 5.2 - Definir o escopo 5.3 - Criar EAP		5.4 - Verificar o escopo 5.5 - Controlar o escopo	
<b>Tempo</b>		6.1 - Definir as atividades 6.2 - Sequenciar as atividades 6.3 - Estimar os recursos da atividade 6.4 - Estimar a duração das atividades 6.5 - Desenvolver o cronograma		6.6 - Controlar o cronograma	
<b>Custos</b>		7.1 - Estimar os custos 7.2 - Determinar o orçamento		7.3 - Controlar os custos	
<b>Qualidade</b>		8.1 - Planejar a qualidade	8.2 - Realizar a garantia da qualidade	8.3 - Realizar o controle da qualidade	
<b>Recursos Humanos</b>		9.1 - Desenvolver o Plano de recursos humanos	9.2 - Mobilizar a equipe do projeto 9.3 - Desenvolver a equipe do projeto 9.4 - Gerenciar a equipe do projeto		
<b>Comunicações</b>	10.1 - Identificar as partes interessadas	10.2 - Planejar as comunicações	10.3 - Distribuir as informações 10.4 - Gerenciar expectativas das partes interessadas	10.5 - Reportar o desempenho	
<b>Riscos</b>		11.1 - Planejar o gerenciamento de riscos 11.2 - Identificar os riscos 11.3 - Realizar a análise qualitativa de riscos 11.4 - Realizar a análise quantitativa de riscos		11.6 - Monitorar e controlar os riscos	
<b>Aquisições</b>		12.1 - Planejar aquisições	12.2 - Conduzir aquisições	12.3 - Administrar as aquisições	12.4 - Encerrar as aquisições

FONTE: PMI, (2008, p. 43).

Na tabela 1 podemos perceber que os processos do gerenciamento de projetos estão distribuídos pelas nove áreas de conhecimento que caracterizam os principais aspectos envolvidos em um projeto e no seu gerenciamento. São elas:

- Integração;
- Escopo;
- Tempo;
- Custos;
- Qualidade;
- Recursos humanos;
- Comunicações;
- Riscos e
- Aquisições.

As áreas de escopo, tempo, custos e qualidade são os principais determinantes para o objetivo de um projeto: entregar um resultado de acordo com o escopo, no prazo e no custo definidos, com qualidade adequada. As áreas de recursos humanos e aquisições são os insumos para produzir o trabalho do projeto. As áreas de comunicações e riscos devem ser continuamente abordadas para manter as expectativas e as incertezas sob controle, assim como o projeto no rumo certo. E a área de integração abrange a orquestração de todos estes aspectos.

A aplicação dos conhecimentos requer a adoção eficaz de processos apropriados. Cada área de conhecimento abrange diversos processos no gerenciamento de projetos.

O gerenciamento de projetos, de acordo com o PMI (2008), é realizado por meio da aplicação e da integração dos seguintes processos que se relacionam com a descrição, a organização e a finalização do trabalho do projeto.

O grupo de processos de iniciação trata da definição e autorização do projeto ou de uma de suas fases. Já o grupo de processos de planejamento trata da definição dos objetivos do projeto e do planejamento necessário para o alcance de

tais objetivos e cumprimento do escopo para os quais o projeto foi realizado. O grupo de processos de execução integra as pessoas e outros recursos para a realização do plano de gerenciamento do projeto. O grupo de processos de monitoramento e controle trata da medição e monitoramento regular do progresso do projeto para identificar variações em relação ao plano de gerenciamento do projeto, de forma que possam ser tomadas ações corretivas quando necessário para atender aos objetivos do projeto. E, finalmente, o grupo de processos de encerramento trata da formalização da aceitação do produto, serviço ou resultado e conduz o projeto ou uma fase do projeto a um final ordenado.

Os grupos de processos são ligados pelos resultados que produzem: o resultado de um processo frequentemente representa a entrada de outro. Uma saída com falhas pode comprometer a entrada de processos dependentes. Os cinco grupos de processos possuem conjuntos de ações que, se bem aplicadas e planejadas, garantem a taxa de sucesso do projeto.

Agora que o conceito geral sobre gerenciamento de projetos foi apresentado, vamos adentrar em nossa área de pesquisa, sobre a definição da gestão de da qualidade.

## **2.2 DEFINIÇÃO DE GESTÃO DA QUALIDADE**

Quando se fala em certificação, fala-se sempre em ISO. Mas o que ela representa?

ISO é a sigla de uma organização internacional, não governamental, que elabora normas internacionais que compõem documentos que descrevem sistemas da qualidade. Ela foi fundada em 1947 e sua sede é em Genebra, na Suíça.

Fazem parte da ISO entidades de normalização de mais de 90 países, representando mais de 90% da produção industrial do mundo.

O Brasil participa da ISO através da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), que é uma sociedade privada sem fins lucrativos, tendo como associados pessoas físicas e jurídicas, e reconhecida pelo Governo brasileiro.

A ISO tem por objetivo estabelecer normas que representem e traduzam o consenso dos diferentes países do mundo, em requisitos relacionados com a

qualidade de produtos e serviços.

Qualidade total é a filosofia que coloca a Qualidade como ponto central dos negócios a atividades da empresa, disseminando-a em todas as atividades e para todas as pessoas.

A gestão da qualidade foi um dos aspectos mais importantes e, certamente, foi o que exerceu mais forte impacto em diversos setores organizacionais.

Segundo Sashkin e Kiser (1994) ela possui três alicerces importantes: o primeiro diz respeito às ferramentas e técnicas que as pessoas são treinadas a usar, o segundo concentra-se no cliente como foco, e o terceiro é a cultura da organização. Ela pode ser um facilitador na busca constante da satisfação do cliente através de um sistema integrado de ferramentas, técnicas e treinamento, o que envolve a melhoria contínua dos processos dentro da empresa o que faz com que os produtos e serviços sejam de alta qualidade.

É impossível abordar o presente tema sem comentar sobre as contribuições dos grandes autores, comumente chamados de “gurus da qualidade”, como Deming, Juran, Ishikawa, Tagushi e Crosby.

Deming (1990), pode ser considerado como o pai da qualidade no Japão e sustentava que a produtividade e a qualidade aumentam à medida que a variabilidade do processo (imprevisibilidade) diminui. Para isso criou os 14 pontos para a melhoria da qualidade.

Juran (1991) também pode ser considerado a chave para a administração da qualidade japonesa. Preocupava-se com a responsabilidade pela qualidade com as atividades administrativas, e criou a expressão adequação ao uso na mudança de uma visão fabril tradicional de qualidade para uma abordagem mais voltada ao usuário. Criou o que se chamou de “trilogia da qualidade” de Juran – planejamento da qualidade, controle da qualidade e gestão da qualidade.

Ishikawa (1985) criador do conceito de círculos de qualidade e dos diagramas de causa e efeito, que serviram como veículos importantes para reduzir a visão de algo desagradável que o excesso de ênfase no controle estatístico causara.

Taguchi (1990) preocupado com a qualidade da engenharia estimulou

reuniões interativas de equipes de operários e gerentes, visando a crítica e o desenvolvimento.

Crosby (1990) afirmava que as empresas não sabiam quanto gastavam em qualidade, seja para consertarem o que faziam de errado ou para fazerem certo, e, então desenvolveu um trabalho sobre custo da qualidade. Ele procurava destacar os custos e benefícios da implementação de programas da qualidade.

Os mais diversos setores industriais passaram a ser preocupar mais com o aprimoramento dos processos produtivos. Foi então que começou a ser adotado o controle estatístico da qualidade. Seis Sigma seria uma das metodologias adotada para este tipo de controle.

## **2.3 SEIS SIGMA**

Atualmente, a competição por clientes está presente em qualquer tipo de organização.

Segundo George (2004), a qualidade é uma das mais importantes armas competitivas.

Slack et al. (1996) afirma que, cada vez mais as organizações se conscientizam de que bens e serviços de alta qualidade pode trazer considerável vantagem na competição por clientes.

Eckes (2001) afirma que, a estratégia Seis Sigma aplicada na produção de bens ou serviços, tem estado presente nos últimos anos em programas de qualidade de diversas empresas que estão interessadas em obter algum tipo de ganho a partir da melhoria de produtos e serviços. Ainda segundo o mesmo autor, as empresas estão constantemente em busca de oportunidades para ganhar competitividade utilizando ferramentas já consagradas.

Mora, Carlos, Lima (2012) e Rotondaro et al. (2006) realizaram um estudo sobre a aplicação do programa Seis Sigma em pequenas e médias empresas, concluindo que é possível obter contribuições consideráveis para empresas que o adotam.

Agora que conhecemos um pouco sobre a estratégia Seis Sigma na visão de autores consagrados, vamos nos aprofundar em suas definições.

## **2.4 SEIS SIGMA: DEFINIÇÃO E DESCRIÇÃO**

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), o Seis Sigma foi desenvolvido pela empresa norte-americana Motorola visando a redução dos problemas de qualidade e lucratividade, cuja sobrevivência estava ameaçada por ineficiências internas. Devido ao sucesso do programa de qualidade Seis Sigma, a Motorola recebeu em 1988 o Prêmio Malcon Baldrige da Qualidade, fazendo com que o Seis Sigma fosse difundido entre as empresas americanas.

Segundo Eckes (2001), a empresa que se tornou mais evidente na mídia devido à implantação do programa de qualidade Seis Sigma foi a GE (General Electric), por meio de seu famoso CEO Jack Welch. Em meados de 1990, Jack Welch iniciou a implantação do Seis Sigma na companhia, de modo que os esforços da melhoria da qualidade fossem alinhados com as necessidades do negócio. Os excelentes resultados financeiros divulgados pela GE estimularam outras empresas a adaptar e utilizar esse programa de melhoria da qualidade.

Na concepção de George (2004), em um primeiro momento, a metodologia Seis Sigma era aplicada em processos de manufatura, evoluindo para uma metodologia de melhoria geral do negócio, passando a ser utilizado em diversos tipos de indústrias e empresas da área de serviços, desde organizações financeiras até hospitais.

Segundo Perez (1999), Seis Sigma pode ser utilizado sob diversos focos dentro de uma empresa, como por exemplo, um *benchmarking*, uma meta de qualidade, uma filosofia, uma estatística, uma estratégia ou uma visão.

Segundo Rotondaro et al. (2006), o programa Seis Sigma tem uma visão ampla sobre as atividades de melhoria da qualidade, realizando projetos que tenham impacto sobre os negócios e que estejam alinhados às estratégias de negócio da empresa. Ainda segundo o mesmo autor, a estratégia Seis Sigma é controlar o processo atuando sobre as causas das variações, mantendo o processo estável, com o objetivo de reduzir o número de defeitos nos produtos finais a valores próximos a zero. Mike Harry, um dos criadores do programa Seis Sigma, afirma que o programa é uma estratégia que deve permear toda a organização, da manufatura à área de serviços, não ficando restrita apenas a área de qualidade.

Peres (1999) afirma que Seis Sigma é uma filosofia de melhoria contínua do processo e redução da variabilidade visando o zero defeito, sempre buscando a excelência em tudo o que a organização faz.

Caulcutt (2001) afirma que Seis Sigma é uma metodologia baseada em informações para reduzir o desperdício, aumentar a satisfação dos clientes e melhorar os processos, com foco em resultados financeiros.

Sogumo et al. (2005) analisaram diversos trabalhos publicados desde a década de 1990 e somando a experiência prática de algumas organizações, propôs a seguinte definição:

“Seis Sigma é uma abordagem que impulsiona a melhoria do desempenho do negócio e a valorização da satisfação dos clientes, por meio de um enfoque estratégico de gerenciamento; da aplicação do pensamento estatístico em todos os níveis de atividades; do uso de indicadores de desempenho; da utilização de uma metodologia sistematizada que integre técnicas variadas para se avaliar e otimizar processos; e da aprendizagem decorrente da capacitação e comprometimento das pessoas.” (p.26)

Eckes (2001) afirma que, de forma bastante simplificada, o conceito de Seis Sigma é medir quantos sigmas existem a partir da média corrente até que ocorra um defeito. Quanto maior o número de sigmas dentro das especificações, melhor o nível de qualidade.

Rotondaro et al. (2006) coloca o Seis Sigma como uma medida para o nível de qualidade. Um nível de qualidade Seis Sigma apresenta apenas 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição.

Segundo Perez (1999), a principal meta do Seis Sigma é eliminar defeitos ou erros e reduzir o valor do sigma até que  $\pm 6$  sigmas fiquem dentro dos limites de especificação.

Rotondaro et al. (2006), diz que o termo sigma mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas ou defeitos.

Werkema (1995) afirma que, os defeitos são resultados da variabilidade que está presente em todos os processos de produção de bens ou fornecimento de serviços. Um defeito ocorre quando um produto ou serviço não atendem a uma

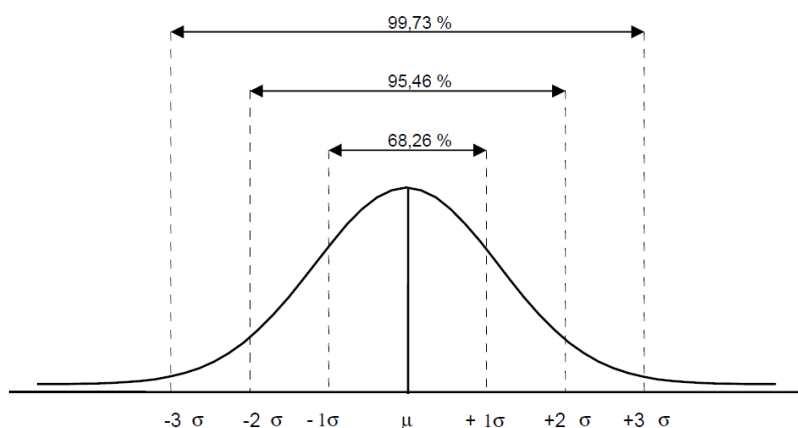


determinada especificação das características da qualidade. Mesmo os produtos não defeituosos não são exatamente idênticos, pois apresentam variações dentro dos limites de sua especificação. Assim, em um programa de melhoria de qualidade, as técnicas e ferramentas estatísticas são importantes, pois descrevem e interpretam a variabilidade.

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001) e Rotondaro et al. (2006), Seis Sigma alcança a melhoria de processos por meio da redução da variabilidade dos resultados esperados do processo.

Perez (1999) explica que o sigma mede a variabilidade ou não-uniformidade existente em um processo, resposta ou característica. Assim, se o valor do sigma é baixo, significa que há pouca variabilidade no produto, ou seja, quanto menor o valor do sigma, melhor a característica do produto ou processo.

Segundo Stevenson (1981), a letra  $\sigma$ , *sigma*, do alfabeto grego é o símbolo usado na linguagem estatística para representar o desvio padrão de uma população, que é uma medida da dispersão dos dados em relação à média aritmética. Em distribuições normais, a área sob a curva entre a média e um ponto arbitrário é função do número de desvios padrões entre a média e aquele ponto, permitindo calcular probabilidades. Se uma variável tem distribuição normal, cerca de 68,26% de seus valores encontram-se no intervalo de  $\pm 1\sigma$  (um desvio padrão a contar de cada lado da média); cerca de 95,46% no intervalo de  $\pm 2\sigma$ , e cerca de 99,73% dentro de  $\pm 3\sigma$ , conforme a Ilustração 1.



FONTE: Adaptado de Stevenson, (1981).

Ilustração 1: Distribuição Normal

O sigma, ou o desvio padrão, é calculado pela seguinte fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \text{ onde } x_i \text{ é o valor } i\text{ésimo elemento da amostra, } \bar{x} \text{ é a média aritmética da amostra e } n \text{ é o número total de elementos da amostra.}$$

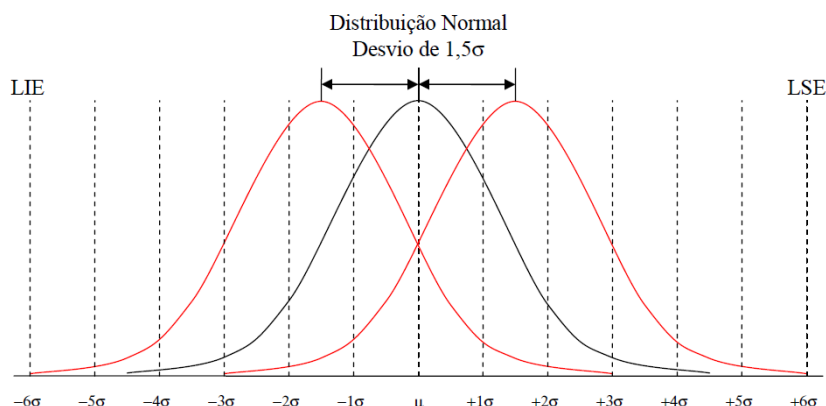
Segundo Stevenson (1981), utilizando a especificação equivalentes a  $\pm 3\sigma$ , tem uma conformidade de aproximadamente 99,73% dos processos ou produtos. Quando são utilizadas especificações equivalentes a  $\pm 6\sigma$  o resultado é perto de zero defeito. Baseado na distribuição normal, um processo equivalente a  $\pm 6\sigma$  apresenta 99,9999998% de conformidade, ou seja, apenas 0,002 falhas por milhão ou cerca de 2 falhas por bilhão. Entretanto, é comum se encontrar na literatura o Seis Sigma associado a uma taxa de 3,4 defeitos por milhão de oportunidade (DPMO) e a 3,4 ppm (partes por milhão)

Segundo Rotondaro et al. (2006), um processo Seis Sigma significa a redução da variação numa taxa de 3,4 falhas por milhão ou 99,99966% de perfeição.

Eckes (2001) e George (2004) afirmam que um processo com capacidade Seis Sigma não gera mais que 3,4 defeitos por milhão de oportunidades.

Perez (1999) explica que esta diferença ocorre porque a Motorola afirma em um de seus documentos, que um processo Seis Sigma apresenta no máximo 3,4 falhas por milhão. Um processo Seis Sigma seria robusto mesmo que, o processo sofresse uma variação significativa de 1,5 sigma em torno da média. Os clientes não perceberiam a diminuição na qualidade que, na pior das hipóteses, passaria de zero defeito (0.002 ppm) para 3,4 defeitos a cada milhão. Assim, um processo Seis Sigma considera que pode haver uma oscilação em torno da média de até 1,5 sigma, ficando próximo de  $\pm 4,5$  sigma no longo prazo.

A Ilustração 2 mostra um processo Seis Sigma com deslocamento da média do processo. A Tabela 2 apresenta a correspondência entre o nível sigma de qualidade e a correspondente taxa de defeitos (DPMO). O limite inferior de especificação (LIE) e o limite superior de especificação (LSE) representam os limites de especificação do projeto. Quando esses limites são excedidos, significa que o processo falhou nas exigências do seu projeto.



FONTE: Adaptado de Perez, (1999).

*Ilustração 2: Representação do deslocamento de 1,5 sigma da média do processo*

*Tabela 2: Distribuição normal centralizada/descentralizada X qualidade sigma.*

Distribuição Normal Centralizada			Distribuição Normal Descentralizada		
Process o	Conformidade (%)	DPMO	Processo	Conformidade (%)	DPMO
1 $\sigma$	68,26	317.300	1 $\sigma$	30,23	697.700
2 $\sigma$	95,46	45.500	2 $\sigma$	69,14	308.538
3 $\sigma$	99,73	2.700	3 $\sigma$	93,32	66.807
4 $\sigma$	99,9937	63	4 $\sigma$	99,379	6.210
5 $\sigma$	99,999943	0,57	5 $\sigma$	99,9767	233
6 $\sigma$	99,9999998	0,002	6 $\sigma$	99,99966	3,4

FONTE: Adaptado de Perez (1999).

Segundo Perez (1999), a parte esquerda da Tabela 2 (Distribuição Normal Centralizada) apresenta o número de sigma do processo, o percentual de conformidade à especificação e o número de defeitos/falhas/erros baseados na distribuição normal. Na parte da direita (Distribuição Normal Descentralizada) são apresentados os valores correspondentes na visão da metodologia Seis Sigma que considera o deslocamento da média no longo prazo. Assim, pode-se observar que um processo Seis Sigma apresenta apenas 0,002 DPMO, se centralizado, e 3,4 DPMO considerando o deslocamento da média em 1,5 sigma.

## 2.5 DMAIC

Eckes (2001) afirma que, o DMAIC é uma metodologia do processo de melhoria que absorve os processos já existentes.

Segundo Rotondaro et al. (2006), o método DMAIC está centrado na identificação dos problemas para a seleção dos projetos a serem executados, na coleta de dados que levem a conhecer o desempenho do processo, na análise dos dados para conhecer as causas dos problemas, na formulação de ações de melhoria e na manutenção das melhorias. Além disso, dá grande ênfase ao resultado financeiro obtido.

Segundo Eckes (2001), o método DMAIC está apoiado no uso de técnicas estatísticas e ferramentas de gestão de qualidade que são utilizadas seguindo um método disciplinado dividido em cinco fases: Definir, Medir, Analisar, Melhorar (Improve) e Controlar.

**D – Define** – Definição dos objetivos da atividade de melhoria. Identificação do problema, suas relações e os envolvidos. É a parte do projeto onde o grupo tem que definir o motivo pelo qual o projeto será levado adiante;

**M – Measure** – Medição do processo existente. Desdobramento do problema, servindo para dar visão de como está o processo e indicar pontos de oportunidades de melhorias;

**A – Analyse** – Análise do processo medido. Identificação e priorização dos fatores que possuem influência direta no problema;

**I – Improve** – Melhoria do processo. Estabelecimento e execução do plano de ação. Diversas ferramentas são utilizadas nessa fase, com a finalidade de atacar os pontos de oportunidade de melhoria detectados, tornando o processo mais eficaz;

**C – Control** – Controle do novo processo para garantia da qualidade ao longo prazo.

Ainda segundo a concepção do mesmo autor, o modelo DMAIC está centrado em uma série de ferramentas para sistematizar a definição, a medição, a análise, a identificação e a implementação de melhorias nos processos, onde a variabilidade esteja presente, gerando a ocorrência de defeitos no produto ou serviço recebido pelo cliente. Aqui se considerando tanto o cliente final como o cliente interno do

processo. A tabela 3 apresenta um resumo do método DMAIC.

*Tabela 3: Resumo do método DMAIC.*

<b>FASES</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>ATIVIDADES</b>	<b>FERRAMENTAS</b>
<b>DEFINIR</b>	Definir o objetivo da atividade de melhoria, identificando o problema, suas relações e os envolvidos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar processos centrais de negócios</li> <li>• Definir saídas de processo e clientes-chave</li> <li>• Definir necessidades do cliente</li> <li>• Definir escopo do projeto</li> <li>• Criar mapas de processo centrais de alto nível</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SIPOC</li> <li>• Voz do Cliente</li> </ul>
<b>MEDIR</b>	Coletar dados sobre o processo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planejar e executar medições de desempenho relativamente a requisitos do cliente</li> <li>• Obter medidas de base de defeitos e identificar oportunidades de melhoria</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formulário de Coleta de Dados</li> </ul>
<b>ANALISAR</b>	<p>Conversão dos dados em informações que indiquem soluções.</p> <p>Identificar e priorizar as causas-raiz do problema.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisar os dados e o processo</li> <li>• Desenvolver hipóteses sobre causas do problema</li> <li>• Encontrar soluções focalizadas em causas-raiz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• FMEA</li> <li>• Teste de hipótese</li> <li>• Análise de variância</li> <li>• Histograma</li> <li>• Diagrama de Pareto</li> <li>• Diagrama de Causa e Efeito</li> <li>• Mapa de processo</li> </ul>
<b>MELHORAR</b>	Executar ações que melhorem o processo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Testar e avaliar soluções</li> <li>• Implementar soluções</li> <li>• Padronizar</li> <li>• Medir resultados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Delineamento de experimentos (DOE)</li> <li>• Planos de ação</li> <li>• Brainstorming</li> </ul>
<b>CONTROLAR</b>	Planejar e executar ações que mantenham a melhoria a longo prazo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementar medidas em andamento e ações para manter a melhoria</li> <li>• Definir responsabilidades para a propriedade e o gerenciamento de processo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Controle Estatístico do Processo</li> <li>• Gráficos de controle</li> </ul>

FONTE: Eckes, (2001).

Entre as fases de medir e analisar a ênfase maior se dá nas ferramentas e atividades para caracterização dos processos e, entre as fases melhorar e controlar, há prioridade nas ferramentas e atividades para otimização dos processos.

### 2.5.1 FASE: DEFINIR

Rotondaro et. al (2006) afirma que, nessa primeira etapa é definido o objetivo do projeto de melhoria. Deve ser definido qual é o problema, ou efeito indesejável de um processo, que deve ser eliminado ou melhorado pelo projeto, sendo fundamental que esteja relacionado aos requisitos do cliente e que o projeto seja economicamente viável.

Segundo os autores Eckes (2001) e Rotondaro et. al. (2006), nesta fase, são determinados o escopo do projeto, identificado(s) o(s) cliente(s) do projeto, definidas quais são suas necessidades e exigências, as características críticas para a qualidade (*Critical to Quality* – CTQ) e identificados os processos críticos, relacionados aos CTQs do cliente, que estejam gerando resultados ruins.

Segundo os autores Eckes (2001) e Rotondaro et. al. (2006), o escopo do projeto determina os limites onde a equipe trabalhará e também com o que a equipe não trabalhará, ou seja, determina o que faz e o que não faz parte do projeto. Além disso, para que o projeto seja gerenciável, seu escopo deve determinar quais são os recursos disponíveis e o tempo necessário para concluí-lo com sucesso, as áreas envolvidas no processo e as partes interessadas.

O cliente, segundo Eckes (2001), é o destinatário do produto ou serviço, podendo ser interno ou externo. O cliente pode ser segmentado em cliente primário, secundário e até terciário, sendo que o cliente primário é o maior interessado no resultado e é a principal consideração no processo. A segmentação dos clientes é importante, pois podem existir diversos clientes em um processo, com necessidades e expectativas que podem ser diferentes. A segmentação permite à equipe decidir quais clientes devem ter tratamento prioritário no caso de conflito de interesses. A boa qualidade reduz custos de retrabalho, refugo e devoluções e, mais importante, a boa qualidade gera consumidores satisfeitos.

Segundo Rotondaro et al. (2006), os custos da qualidade podem ser classificados da seguinte forma:

**Custos de prevenção:** atividades de planejamento, controle do processo e treinamento. São os custos associados às atividades que visam garantir que um processo forneça produtos ou serviços com qualidade.

**Custos de avaliação:** atividades de inspeção, testes e auditorias da qualidade. São os custos associados à medição dos níveis de qualidade.

**Custo de falhas internas:** custos com retrabalho, reteste, erros ou defeitos nos produtos detectados ainda no interior da empresa. São os custos da correção de um produto ou serviço antes que chegue ao cliente.

**Custos de falhas externas:** erros ou defeitos detectados por meio da reclamação dos clientes, gerando custos com garantia, trocas, perda de clientes e de vendas.

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), o *Projetc Chart* é uma ferramenta sugerida nesta fase. É uma espécie de contrato entre a equipe responsável pelo projeto e a gerência da empresa, que permite definir o contexto do projeto, aspectos específicos e planos de melhoria, papéis e responsáveis, características do problema e metas, restrições e suposições, plano preliminar e escopo do projeto.

Segundo Eckes (2001), um mapa de processo para o projeto em questão deve ser criado utilizando o diagrama SIPOC. É uma ferramenta que permite visualizar o processo, demonstrando os fornecedores, as entradas, saídas e os clientes do processo.

### **2.5.2 FASE: MEDIR**

O diferencial do programa de qualidade Seis Sigma em relação a outros programas de melhoria da qualidade é a ênfase na tomada de decisões baseadas em dados.

Segundo Eckes (2001), melhorar a eficiência e a eficácia da organização é a meta de um programa de qualidade. Na fase de medição são identificadas as medidas de eficiência e de eficácia, traduzindo-as para o conceito do sigma. A eficiência diz respeito ao tempo, custo ou valor das atividades que satisfazem o cliente. A eficácia diz respeito a atingir ou superar as expectativas do cliente.

Pande, Neuman e Cavagh (2001) relacionam essas medidas pelo foco de quem recebe o benefício do processo, a organização ou o cliente. Medidas de eficiência estão relacionadas à organização e acompanham o volume de recursos consumidos na produção de produtos ou serviços. Processos mais eficientes

consomem menos recursos. As medidas de eficácia estão relacionadas ao cliente, medindo se foram atendidas suas necessidades e exigências.

Ainda segundo os mesmos autores, é nesta fase são planejadas e executadas medições de desempenho relativas aos requisitos dos clientes.

Segundo Eckes (2001), o plano de coleta de dados é a ferramenta mais importante para que a fase de medição seja eficaz. O Plano de Coleta de dados define “quem”, “o que”, “onde”, “quando” e “como” medir.

Eckes (2001) detalha a elaboração do Plano de Coleta de dados:

**O que medir:** questões que os dados deverão responder, principalmente as que dizem respeito ao cliente, suas necessidades e expectativas;

**Tipo de dado:** os dados numéricos, chamados de dados quantitativos, são classificados como dados contínuos ou dados discretos. Os dados não-numéricos, chamados de dados qualitativos ou atributos, são classificados como dados nominais ou por postos;

Segundo Stevenson (1981), dados contínuos são dados numéricos que podem assumir qualquer valor dentro de um intervalo contínuo de valores. Dados relativos a peso, velocidade e temperatura, por exemplo, são dados contínuos. Dados discretos são aqueles que assumem valores inteiros, por exemplo, os dados resultantes da contagem de itens. Quando se define categorias tais como binárias (sim/não, ligado/desligado), desempenho (bom, regular, ruim), cores, etc, e conta-se o número de observações pertencentes a cada categoria, surgem os dados nominais.

**Definição operacional:** Descrição do que será medido para que não haja ambiguidades sobre aquilo que está sendo definido, ou seja, todos os envolvidos têm o mesmo entendimento do que será medido;

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001) é uma definição clara, compreensível e não conflitantes entre si, daquilo que será medido ou observado, para que todos possam medir consistentemente com base na definição. Por exemplo, se o CTQ for o tempo de um processo, é definido qual é o ponto de início e final do processo para que qualquer um que colete os dados saiba exatamente



quando começar a contar o tempo e quando parar.

**Formulário de coleta de dados:** O tipo de dado (qualitativo ou quantitativo) define o tipo de formulário de coleta de dados, que cria uma tabela de distribuição de frequência;

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), para dados qualitativos, o formulário categoriza os dados coletados pelo tipo de defeito apresentado. O formulário define qual é o defeito, as categorias para o defeito, o período de tempo que os dados serão coletados e cria uma tabela para a coleta dos dados. Essa tabela conta o número de defeitos por categoria, para que se possa criar um Diagrama de Pareto.

Ainda segundo os mesmos autores, para dados quantitativos cria-se uma tabela de distribuição de frequência. Numa distribuição de frequência os dados são agrupados em classes, ou intervalos, de forma que se possa determinar o número ou porcentagem de observações em cada classe. Uma distribuição de frequência pode ser apresentada de forma tabular ou gráfica (histograma).

**Amostragem:** Amostra são dados de um conjunto, chamado população ou universo, que será estudado. A amostragem é o processo de coletar apenas uma parte proporcional dos dados da população assegurando que a amostra seja aleatória e representativa da população.

Segundo Stevenson (1981), a amostragem tem a finalidade de permitir formular certos julgamentos (generalizações) à cerca da população por meio da análise da amostra. O mesmo autor afirma que, apesar de nenhum plano de amostragem garantir que a amostra seja exatamente semelhante à população da qual foi tirada, a amostragem aleatória permite estimar o valor do erro possível, mostrando o quanto esta amostra é próxima da população em termos de representatividade.

Segundo Stevenson (1981), no caso de dados discretos, uma amostra é aleatória quando qualquer item da população tem a mesma chance de ser incluído na amostra. No caso de dados contínuos, uma amostra é aleatória quando a probabilidade de incluir um intervalo qualquer de valores é igual à porcentagem que esse intervalo representa da população.

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), a amostragem sistemática é o método recomendado para muitos tipos de atividades. É um método simples onde amostras são retiradas a determinados intervalos (de tempo ou número de itens) com o cuidado de certificar-se que a frequência da amostragem não corresponda a algum padrão que produzirá uma análise incorreta dos dados.

### **2.5.3 FASE: ANALISAR**

Segundo Eckes (2001), esta é considerada a fase mais importante do DMAIC, pois é durante a fase de análise que a causa raiz do problema é descoberta. Para isso são validados um conjunto de variáveis (Xs) que explicam o desempenho atual (Y), formando uma função  $Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ . O resultado do processo (Y) é função de uma série de variáveis (Xs) que são os elementos do processo. O objetivo dessa fase é determinar, entre os diversos Xs do processo, quais são os que mais contribuem para o resultado Y. Para isso são realizados dois tipos de análise, dos dados e do processo. A análise dos dados está relacionada às medidas de eficácia (satisfação do cliente) e a análise do processo está relacionada às medidas de eficiência (por exemplo, custo).

#### **2.5.3.1 ANÁLISE DOS DADOS**

Segundo Eckes (2001), o foco da análise dos dados, é encontrar as causas do problema por meio da análise dos dados coletados na etapa de medição. Pode-se criar diversos modelos de gráficos que auxiliem na análise dos dados brutos. O Diagrama de Pareto e o histograma são ferramentas muito úteis.

Segundo Rotondaro et al. (2006), o Diagrama de Pareto utilizado para dados qualitativos, é um gráfico de barras verticais que nos mostra os dados de forma a tornar claro a priorização de temas, possibilitando focar os esforços de melhoria nos pontos que representam as melhores oportunidades.

Ainda segundo o mesmo autor, com os dados da tabela de distribuição de frequência, do plano de coleta de dados, pode-se criar um histograma. Um histograma é definido como uma representação gráfica dos dados quantitativos agrupados em classes de frequência, que possibilita verificar a forma da distribuição, o valor central e a dispersão dos dados.

### 2.5.3.2 ANÁLISE DO PROCESSO

A análise do processo detalha e analisa o mapa de processo de alto nível elaborado na fase de definição. O detalhamento das etapas que ocorrem entre o início e o fim do processo, definidos no diagrama SIPOC, é chamado de mapeamento de subprocessos (ECKES, 2001, p.60).

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), um mapa de processos é um fluxograma que representa o fluxo do trabalho por meio de uma série de retângulos e losangos ligados por setas. Os retângulos representam as tarefas, os losangos representam os momentos de decisão e as setas mostram o fluxo do trabalho. A validação é realizada verificando junto com os que realizam o trabalho, se o mapa se equipara a realidade. O mapa do processo pode ser analisado em busca de problemas, tais como:

**Descontinuidades:** pontos em que transferências são mal realizadas;

**Gargalos:** pontos onde o volume é maior do que a capacidade, retardando o fluxo do trabalho;

**Redundâncias:** atividades repetidas no processo;

**Loops de retrabalho:** pontos onde partes do trabalho retornam ao processo para serem concertados ou corrigidos;

**Decisões/Inspeções:** pontos de intervenção no processo com escolhas, avaliações, verificações ou levantamentos, criando atrasos potenciais.

Segundo Eckes (2001), existem três tipos de análise do processo, relacionados à (1) momentos da verdade do processo, à (2) natureza do trabalho e ao (3) ciclo de tempo.

Eckes (2001) afirma que, o tipo de trabalho determina quais são os passos de um subprocesso que agregam ou não valores ao processo. Uma etapa agrega valor quando atende a três critérios: (1) o cliente está disposto a pagar por aquele passo do processo, (2) a etapa transforma o produto ou o serviço e (3) a atividade é realizada corretamente da primeira vez. Um passo que agregue valor deve atender a todos os três critérios. Entretanto, algumas etapas do processo, que tecnicamente não agregam valor, não são alvo de melhoria, são apenas exigências legais.

Ainda segundo o mesmo autor, o ciclo de tempo é a quantidade de tempo gasto em cada etapa do subprocesso, seja uma etapa que agregue de valor ou não. Este cálculo da quantidade de tempo é chamado de análise do fluxo de trabalho. A partir da análise do fluxo do trabalho, elabora-se uma planilha chamada de resumo da análise, que relaciona as etapas do processo ao ciclo de tempo e à natureza do trabalho, criando assim um resumo estatístico da análise do processo.

### **2.5.3.3 ANÁLISE DA RAIZ DO PROBLEMA**

Eckes (2001) divide a análise da raiz do problema em três fases (abertura, afunilamento e fechamento), começando pelo levantamento de todas as ideias que possam explicar o problema, passando pelo afunilamento que vai gerar uma lista de causas prováveis e termina com atividades de validação que se reduz a poucas causas essenciais.

Ainda segundo o mesmo autor, o levantamento das ideias que podem explicar o problema é realizado por meio de um Diagrama de Causa e Efeito. O diagrama de causa e efeito, também conhecido como gráfico de Ishikawa ou gráfico espinha de peixe, identifica muitas das causas possíveis para um efeito ou problema e classifica as ideias em categorias úteis.

Eckes (2001) sugere que todas as ideias geradas como possíveis causas do problema, devem passar por um processo de afunilamento, visando a redução do número de causas prováveis.

Sugere ainda, que seja efetuado com a equipe um exame da lista original de ideias para:

- (1) para que haja um entendimento das ideias por todos os membros da equipe;
- (2) identificação de possíveis ideias ambíguas;
- (3) identificar as principais categorias.

Por fim, Eckes (2001) afirma que a equipe deve fazer uma votação sobre as causas visando sua redução, baseado no consenso, enfatizando ao grupo que o exercício de votação múltipla não é um processo de tomada de decisão.

Outra sugestão de Eckes (2001), é utilizarmos nesta fase a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Ela seria uma ferramenta qualitativa de caráter

preventivo, que analisa como um produto ou processo, industrial ou administrativo, pode fracassar em atender os requisitos dos clientes, quais as causas das falhas e como eliminá-las.

#### **2.5.3.4 VALIDAÇÃO DA RAIZ DO PROBLEMA**

Para que sejam encontradas soluções de melhorias, que eliminem a causa raiz do problema, a validação da raiz de um problema é fundamental.

Eckes (2001) afirma que, em alguns casos, a validação da raiz do problema pode ser realizada pela simples análise dos dados atuais disponíveis, que podem explicar 99% do processo. A estatística descritiva dos dados pode em alguns casos, fornecer informação suficiente para validar uma causa. O diagrama de dispersão é uma ferramenta que pode ser utilizada quando há a suspeita sobre uma causa potencial do problema precisa ser validada.

Pande, Neuman e Cavagh (2001) sugerem o desenvolvimento de uma análise de causa lógica. Por meio dos dados coletados e outros fatores disponíveis, podendo testar as causas prováveis para verificar se elas se encaixam com os dados. Essa técnica é impulsionada por perguntas e apoiada em dados sobre o processo, o problema ou o produto. As perguntas típicas da análise lógica são:

- Quais são os tipos ou categorias de defeitos mais comuns? O que existe de diferente a respeito dos tipos mais comuns?
- Há locais onde o problema é maior? Em que aspectos esses locais, onde o problema ocorre são incomuns?
- Quais as horas, dias, semanas ou condições em que o problema é mais frequente? O que acontece de singular nesses momentos?
- Que fatores ou variáveis se correlacionam com o problema?

Essas perguntas restringem o problema, eliminando ou validando suas causas possíveis.

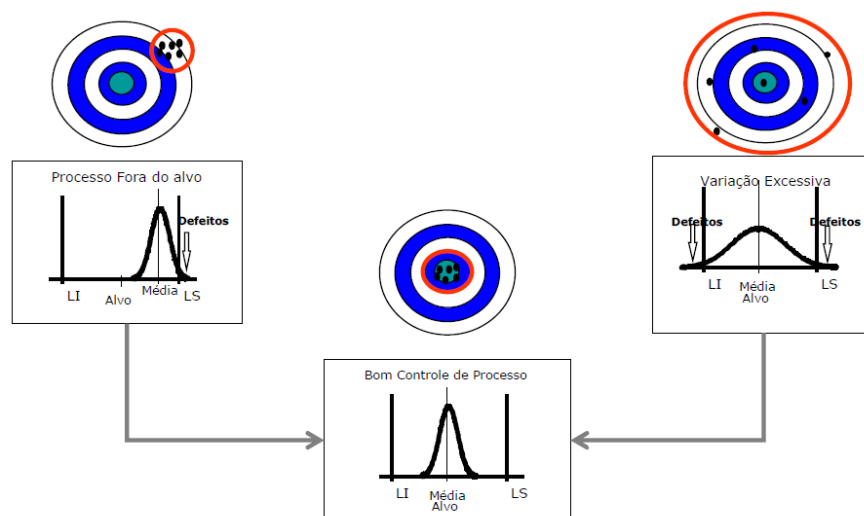
#### **2.5.4 FASE: MELHORAR**

Pande, Neuman e Cavagh (2001) afirmam que, o objetivo da fase de melhoria é escolher e aplicar as soluções, focadas nas causas raiz validadas na fase anterior,

capazes de impactar na causa do problema, eliminando a causa do problema ou minimizando seus efeitos.

Ainda segundo os mesmos autores, nesta fase a equipe deve gerar muitas ideias sobre como atacar a causa raiz do problema, aprimorar essas ideias para que possam ser implementadas no processo, e selecionar as soluções que possuem as melhores oportunidades de atingir a meta.

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), as soluções que levam a um bom controle do processo devem levar em conta a redução da variância dos resultados e a centralização da média dos resultados entre os limites de especificação. A ilustração 3 representa a melhoria de um processo por meio da centralização da média ou da redução da variabilidade dos resultados.



FONTE: PANDE; NEUMAN; CAVAGH; (2001).

*Ilustração 3: Melhoria do processo.*

Segundo Eckes (2001), o conceito de Abertura-Afunilamento-Fechamento também é utilizado nessa fase. Na fase de abertura são levantadas o maior número possível de ideias sobre as que podem impactar na causa do problema. Na fase de afunilamento as ideias são explicadas para que todos compreendam e procuram por duplicações para reduzir o número de possíveis soluções. Em seguida é realizada uma votação para que a equipe chegue a um consenso sobre as principais ideias que possam solucionar o problema.

O fechamento busca priorizar soluções por meio da aplicação de uma série

de critérios.

Eckes (2001) sugere a aplicação dos critérios “precisar” e “querer”:

**O critério “precisar”:** Faz a filtragem das ideias verificando se as sugestões atendem a requisitos mínimos para serem consideradas, ou seja, o que a ideia de solução “precisa ser”. Caso uma sugestão não atenda a algum requisito, ela deve ser descartada das soluções principais.

**O critério “querer”:** Busca a motivação de todos os afetados pelo problema e os membros da equipe, envolvendo-os na seleção das ideias. Aspectos desejáveis na solução são escolhidos como critérios e recebem pesos em relação a sua importância. Os membros da equipe classificam as ideias, atribuindo notas aos critérios que avaliam o quanto cada critério é atendido. As ideias são classificadas de acordo com a pontuação recebida em cada critério, considerando os pesos relativos. Assim, as com a maior pontuação devem ser priorizadas.

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), alguns critérios que podem ser utilizados para a escolha da solução mais adequada são:

- Custo da implementação;
- Custo operacional;
- Facilidade de implementação;
- Probabilidade de alcançar a meta do projeto;
- Benefícios adicionais de longo prazo, e;
- Adesão da organização.

Eckes (2001) e Pande, Neuman e Cavagh (2001) afirmam que, é necessário realizar um teste piloto antes de implementar as possíveis soluções, pois é alta a probabilidade de ocorrer problemas imprevistos. O teste piloto experimenta as soluções em pequena escala para determinar se conduzirão à melhoria esperada, permitindo corrigir ou modificar as propostas do projeto.

### **2.5.5 FASE: CONTROLAR**

Durante a fase de controle, última fase do método DMAIC, são realizadas atividades que visam assegurar o funcionamento das soluções, manutenção da melhoria alcançada no processo e dos ganhos resultantes da melhoria no decorrer do tempo.

Segundo Eckes (2001), a fase de controle atua em dois níveis: nível tático ou do projeto e nível estratégico:

- O controle no nível estratégico diz respeito ao trabalho contínuo dos executivos para sustentar o Seis Sigma dentro da organização. Os executivos devem ter em vista a criação e manutenção de sistemas e estruturas na organização que ofereçam suporte ao Seis Sigma.
- No nível de projeto existem dois métodos de controle, um quantitativo e um qualitativo.

Eckes (2001) afirma que, o método qualitativo é o plano de resposta. É a ferramenta que gera um plano constante de ações que norteiam os participantes do processo sobre como devem agir, mesmo que não tenham participado do projeto. Um plano de resposta inclui um mapa do processo aprimorado, identifica mensurações, especificações, alvos do processo, tipos de controle e as melhorias que estão sendo alcançadas ou serão no curto prazo.

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), um plano de resposta fornece “Alarmes de ação”, tais como padrões do processo ou medições do desempenho, que indiquem a ocorrência de um problema, que medidas corretivas devem ser tomadas e diretrizes para consertos de curto prazo ou de emergência, permitindo que um problema seja solucionado sem a presença de uma equipe especializada e sem gerar “efeitos colaterais” resultantes de soluções provisórias.

Eckes (2001) afirma que, o método quantitativo depende da extensão da padronização do processo e do índice de processamento. Em geral, se a fase de melhoria é concluída satisfatoriamente, o processo está padronizado. Um processo considerado não padronizado apresenta passos imprevisíveis dentro do processo e/ou passos não repetitivos, ou seja, passos que mudam a cada vez que o processo ocorre. O índice de processamento está relacionado ao volume de produtos ou



serviços gerados por um determinado processo. A grande maioria dos processos apresentam alta padronização e alto índice de processamento, levando aos gráficos de controle como método preferencial de controle estatístico.

Ainda segundo o mesmo autor, os gráficos de controle utilizam a média e o desvio padrão dos dados para fornecer a probabilidade da ocorrência de itens ficarem fora dos limites de controle, além da variação dos dados em relação ao tempo, tendências e padrões incomuns, indicando quando surgem os defeitos no processo ou a ocorrência de mudanças. A identificação das causas das mudanças ou defeitos e a tomada de ações corretivas é um meio de manutenção das melhorias.

## **2.6 FERRAMENTAS ESTATÍSTICAS E DA QUALIDADE**

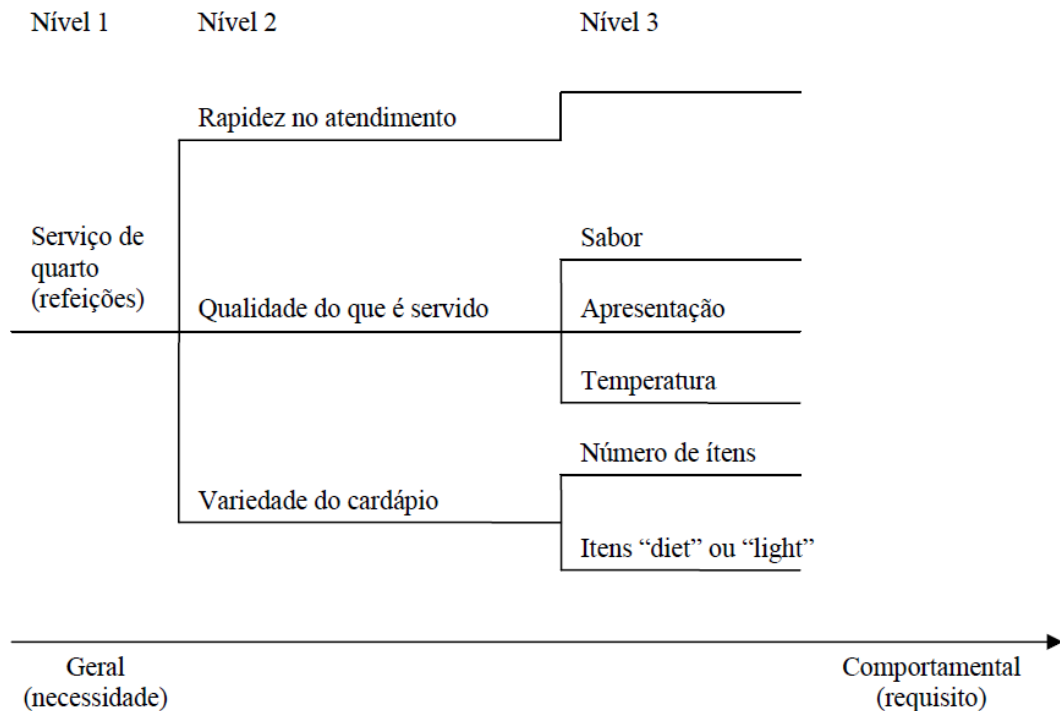
Algumas ferramentas da qualidade e estatísticas, utilizadas no método DMAIC, serão apresentadas.

### **2.6.1 ÁRVORE CPQ**

Segundo Eckes (2001), a árvore CPQ é uma ferramenta simples que auxilia os membros da equipe a partir das necessidades gerais dos clientes para os requisitos mais específicos, de ordem comportamental.

A Ilustração 4 nos mostra uma árvore CPQ de três níveis para um processo de serviço de quarto. O nível 1 identifica o cliente e suas necessidades. Neste exemplo não houve a necessidade de segmentação dos clientes. Os elementos do nível 2 são os requisitos que determinam se o cliente está ou não satisfeito com o processo. Tais requisitos são validados junto ao cliente. O nível 3 é o desdobramento do elemento do nível 2, caso necessite de mais um nível de especificação.

Eckes (2001) salienta que, os elementos da árvore CPQ não representam a forma como a necessidade será medida.



FONTE: Eckes, (2001, p.66).

*Ilustração 4: Árvore CPQ de três níveis para um processo de serviço de quarto.*

Segundo Eckes (2001), a validação dos requisitos junto ao cliente pode ser realizada de diversas maneiras:

- Entrevistas com os clientes;
- Enquetes;
- Grupos de foco;
- Colocar-se no lugar do cliente e observar o cliente, e;
- Reclamações dos clientes.

Ainda segundo o mesmo autor, a vantagem das entrevistas individuais é a possibilidade de conseguir junto ao cliente respostas mais detalhadas sobre suas necessidades. As enquetes trazem um conjunto de perguntas por escrito que são enviadas e respondidas pelos clientes. Sua vantagem está na oportunidade de gerar dados e a capacidade de priorizar as necessidades dos clientes a partir de perguntas diretas e não a partir de respostas que precisam ser interpretadas. Grupos de foco reúnem um grupo de clientes que respondem a uma série de

perguntas, possibilitando desdobrar questões baseado nas respostas dos participantes e compreender a linguagem corporal, o que fornece uma compreensão de suas necessidades em um nível altamente detalhado. Entretanto, deve ser realizada por um facilitador competente para que consiga bons resultados.

Pande, Neuman e Cavagh (2001) chama de “Voz do Cliente” ou VOC (*voice of customer*) a estratégia e sistema de coletar dados sobre as necessidades dos clientes.

### 2.6.2 SIPOC

Segundo George (2004) e Eckes (2001), o diagrama SIPOC é uma ferramenta utilizada para identificar elementos relevantes de um projeto de melhoria de processo, por meio da construção de um mapa de processo de alto nível. O foco é criar uma representação gráfica de como o processo opera no momento, para que se possa determinar o que não está funcionando corretamente.

Segundo Pande, Neuman e Cavagh (2001), este mapa define apenas as atividades principais do processo, não entrando em detalhes como pontos de decisão ou *loops* de retrabalho. O mapeamento do processo mais detalhado é realizado na fase de análise.

Segundo Slack et al. (1996), SIPOC é uma sigla que significa:

**Fornecedores (*Suppliers*):** pessoas ou grupos que fornecem as entradas do processo.

**Entrada (*Input*):** materiais, informações ou outros recursos.

**Processo (*Process*):** sequência de atividades organizadas que transformam as entradas dos fornecedores em saídas para os clientes com valor agregado gerado pela unidade.

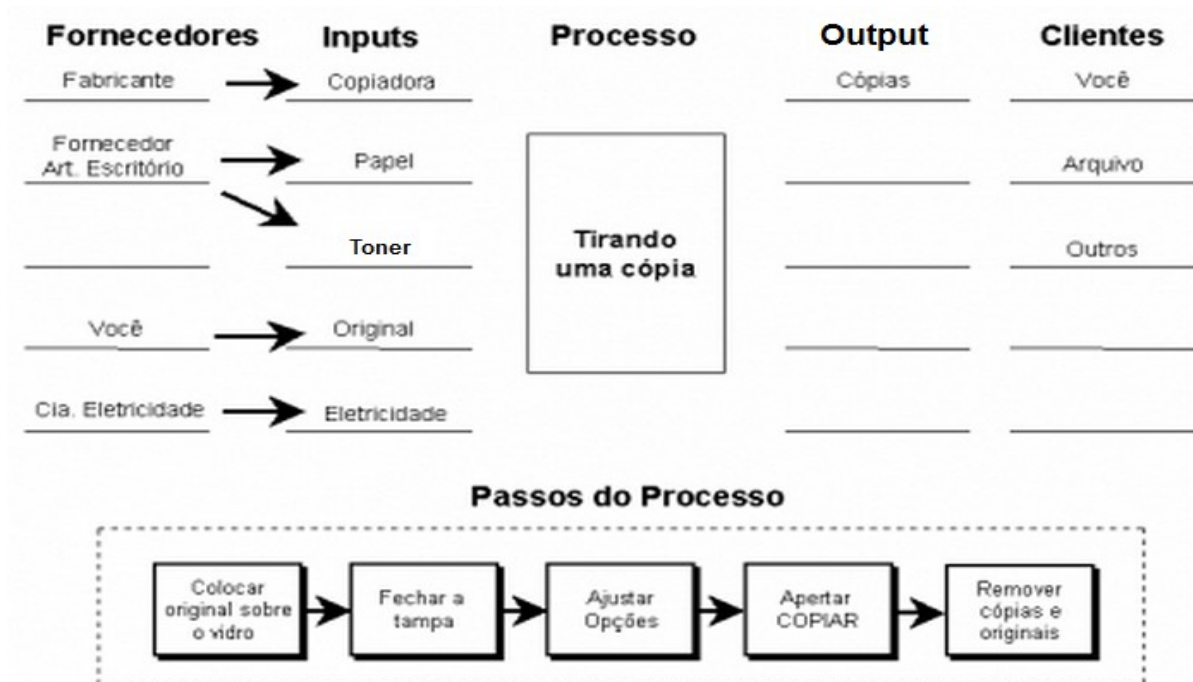
**Saída (*Output*):** produto, serviço ou informações que são enviadas ao cliente.

**Clientes (*Client*):** pessoa, grupo ou processo que recebe a saída.

Eckes (2001) afirma que, a definição do processo a ser mapeado e o estabelecimento dos pontos de início e fim do processo devem ser cuidadosos para que não fujam ao escopo do projeto.

O diagrama SIPOC também pode ajudar a definir o escopo do projeto, caso o escopo ainda não esteja bem definido.

Segundo Eckes (2001), os requisitos do cliente também podem ser acrescentados ao final do diagrama SIPOC. Veja na ilustração 5, um exemplo de diagrama SIPOC do processo de tirar uma cópia.



FONTE: Adaptado Eckes (2001).

*Ilustração 5: Exemplo de diagrama SIPOC – Tirando uma cópia.*

Ainda segundo o mesmo autor, a criação de um diagrama SIPOC começa pela definição do processo a ser mapeado e dos pontos de início e fim do processo, de modo que não fuja ao escopo do projeto, seguido pela definição do resultado do processo, da maneira mais simples possível, podendo haver mais do que um resultado, mas reduzindo ao resultado principal que deve ser atingido. A definição dos clientes e seu requisitos, já devem estar prontos na árvore CPQ, que é feita no início da fase de definição, bastando copiar para o diagrama os dados da árvore CPQ.

Pande, Neuman e Cavagh (2001) afirma que, as entradas fornecidas ao processo são os materiais, informações ou outros recursos que são trabalhados pelo processo, sendo consumidas ou transformadas em saídas para o cliente. Deve-se concentrar nas entradas mais críticas, aquelas que são essenciais ao trabalho, sem

as quais o trabalho não poderia ser bem-feito.

Os últimos passos são identificar os fornecedores das entradas e completar o mapa do processo com os passos de alto nível que ocorrem entre o início e o fim do processo.

Eckes (2001) sugere de 5 a 7 passos e Pande, Neuman e Cavagh (2001) sugerem limitar em 10 para evitar muitos detalhes.

Os mesmos autores afirmar que se deve tomar o cuidado para que o mapa represente o processo como ele é na realidade e não o mapa de como o processo deveria ser. O mapa de como o processo deveria ser será criado na fase de melhoria do processo.

Por fim, Eckes (2001) sugere que é necessário validar o processo, pois a representação de como a equipe acredita que seja o processo pode não representar o processo real. Por meio da validação é representado o verdadeiro mapa do processo. Para isso a equipe deve conversar com as pessoas que fazem parte do processo.

### **2.6.3 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO**

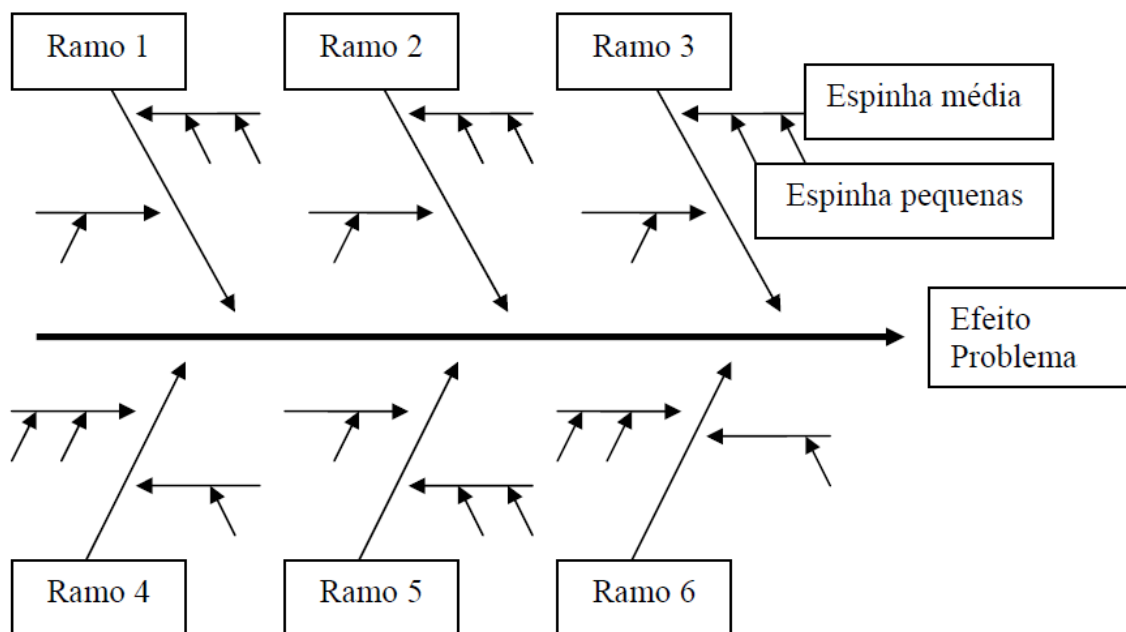
O diagrama de causa e efeito ou diagrama de Ishikawa, é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre determinado resultado de um processo (que é um “efeito”) e os diversos fatores (causas) que podem influenciar nesse resultado.

Segundo Rotondaro et al. (2006), nos projetos de melhorias Seis Sigma, normalmente o resultado do processo que está em estudo é um problema que se quer eliminar, e então o diagrama é utilizado para o levantamento e a apresentação visual de suas possíveis causas e de seu relacionamento com o problema.

Ainda segundo o mesmo autor, trata-se de um instrumento para expandir o leque de informações sobre o problema, e aumentar a probabilidade de identificar corretamente suas principais causas, para que se possa atacá-las. Essa abertura do campo de visão deve ser a mais ampla possível, e deve, portanto, ser desenvolvida com a participação de um grupo de colaboradores que têm envolvimento e conhecimento sobre o processo e o problema.

Este diagrama é formado por flechas, que registram um conjunto de causas, dispostas de forma que, seguindo seu sentido, apresentam maiores níveis de agregação, até que todas convirjam ao efeito que está sendo analisado. Por sua forma, é conhecido também como Diagrama de Espinha de Peixe (ROTONDARO et al., 2006, p.141).

A ilustração 6 mostra um exemplo de diagrama de causa e efeito.



FONTE: Adaptado de Rotondaro et al., (2006).

*Ilustração 6: Diagrama de causa e efeito.*

Segundo Rotondaro et al. (2006), mostra um exemplo simples e prático para se construir um diagrama de causa e efeito:

1º) Determine o efeito a considerar: Coloque-o dentro de quadro do lado direito, com uma grande seta indo da esquerda para a direita até o quadro (espinha dorsal);

2º) Defina os fatores principais, que formarão os ramos maiores, e ligue-os diretamente à seta principal;

Não há uma regra para a definição dos ramos principais, sendo que os critérios mais comumente empregados são chamados de “6 Ms”:

- Mão de obra;
- Materiais (componentes);
- Máquinas (equipamentos);

- Métodos (procedimentos de operação ou de controle);
- Meio ambiente, e;
- Medição (sistema de medição).

Esse conjunto de ramos é amplamente empregado para análise de problemas e processos de manufatura. Podem-se utilizar apenas alguns deles.

3º) Em cada um desses ramos principais, listar as possíveis causas a eles relacionados, registrando-as como “ramos menores”. Repita o processo em cada um dos ramos menores, de forma que esteja sempre indicando um maior nível de detalhe.

A maioria dos autores estudados concordam que, o diagrama de causa e efeito é a ferramenta ideal quando se quer garantir, no *brainstorming*, que o máximo de ideias sobre as causas potenciais para o problema sejam capturadas.

#### **2.6.4 FMEA**

Segundo Rotondaro et al. (2006), FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma ferramenta qualitativa de caráter preventivo, que analisa como um produto ou processo, industrial ou administrativo, pode fracassar em atender os requisitos dos clientes, quais as causas da falhas e como eliminá-las. Assim, a FMEA é um método estruturado para:

- Identificar os potenciais tipos de falha;
- Determinar o efeito de cada falha sobre o desempenho;
- Priorizar as falhas em função de seus efeitos, da frequência com que ocorrem e da capacidade de controle (prevenção ou detecção) que evita que a falha chegue ao cliente;
- Identificar ações que eliminem ou reduzam a possibilidade de uma falha ocorrer.

Ainda segundo o mesmo autor, esta ferramenta apresenta melhores resultados quando desenvolvida em equipe, pois levanta um maior número de informações e considerações, aumentando profundidade da análise. Utilizando-se o

conhecimento do grupo, pode-se identificar as diversas variáveis (entradas) que mais afetam as saídas dos processos e já listar as de influência óbvia sobre os CTQs. Outro resultado importante da utilização da ferramenta é a troca de experiências e o aprendizado em conjunto.

A FMEA de processo focaliza as falhas potenciais referentes à produção do bem ou serviço, assumindo que o produto é capaz de atender às necessidades do cliente. Assim, busca oportunidades e alternativas para melhorar o processo em si e não em identificar alterações do produto para que os efeitos da deficiência sejam reduzidos (ROTONDARO et al., 2006, p. 156).

Basicamente, é uma tabela que relaciona os tipos de potenciais falhas a três critérios em uma escala de 1 a 10:

1. Ocorrência da falha (1 = pouco provável a 10 = quase certa);
2. Detecção da falha (1 = muito provável a 10 = pouco provável de ser detectada);
3. Severidade da falha (1 = pouco impacto a 10 = impacto extremo, com danos pessoais ou elevada perda financeira).

Na tabela 4, Rotondaro et al. (2006) descreve o formulário básico – FMEA:

Função do processo	Modo de falha potencial	Efeito(s) potencial(is) da falha(s)	Índice de severidade	Causa(s) e mecanismo(s) potencial(is)	Controles atuais do processo	Índice de detecção	NPR	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Ações tomadas	Resultados das ações			
											Severidade	Ocorrência	Detecção	NPR

FONTE: Rotondaro et al., (2006, p.156).

*Tabela 4: Formulário básico FMEA.*

**Função do processo:** Título dado a etapa do processo ou uma breve descrição da operação em análise.



**Modo de falha potencial:** Descrevendo uma não-conformidade da operação, da forma que o cliente a percebe. Consideram-se todos os possíveis tipos de falhas, mesmo aquelas que não ocorram efetivamente.

**Efeito(s) potencial(is) da falha:** Consequência da falha para o cliente, caso o Modo de falha não seja prevenido ou corrigido.

A análise de Modo e Efeito da falha é uma ferramenta de planejamento que ajuda equipes a anteciparem e evitarem problemas. Para cada passo em um processo a equipe pergunta o que pode dar errado e decide o que pode fazer.

**Índice de severidade:** Avaliação da gravidade do efeito da falha para o cliente, em função da consequência da falha.

**Causa(s) potencial(is) de falha:** Identifica a causa fundamental da falha em termos de algo que possa ser corrigido ou controlado.

**Índice de ocorrência:** Indica a probabilidade de uma causa de falha ocorrer.

**Controles atuais do processo:** Controles que sejam capazes de detectar o Modo de falha e a Causa da falha e de prevenir a ocorrência do Modo de falha.

**Índice de detecção:** Indica a probabilidade dos controles atuais evitarem que as falhas cheguem ao cliente.

**Número de prioridade de risco (NPR):** Indicador geral da importância da falha e serve de critério para a escolha das ações de melhoria. Quanto maior o valor do NPR, mais alta é a prioridade. É calculado pelo produto dos indicadores de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D).

$$\text{NPR} = (S) \times (O) \times (D)$$

**Ações recomendadas:** Registro das ações corretivas propostas para os itens que foram selecionados pelo NPR.

**Responsável e prazo:** Define o responsável pela realização das ações recomendadas, acompanhamento das atividades e atualização das informações.

**Ações tomadas:** Descrição das ações efetivamente tomadas, caso não

sejam as mesmas das ações recomendadas.

**NRP resultante:** Reavaliação do NRP após as ações corretivas.

### 3 METODOLOGIA

Segundo Severino (2012), o método científico é um caminho planejado a ser seguido na investigação científica, ou seja, é um conjunto de procedimentos que possibilitam alcançar determinado objetivo.

Segundo Diehl e Tatim (2004), a pesquisa constitui-se num procedimento racional e sistemático, cujo objetivo é proporcionar respostas aos problemas propostos. Ao seu desenvolvimento é necessário o uso cuidadoso de métodos, processos e técnicas.

Segundo os mesmos autores, o método e o tipo de pesquisa pode ser classificado da seguinte forma:

- Segundo as bases lógicas da investigação, essa pesquisa seria do método hipotético-dedutivo, pois os conhecimentos disponíveis sobre o assunto são insuficientes para a explicação de um acontecimento, surgindo o problema. Para testar e explicar são formuladas conjecturas ou hipóteses. Destas hipóteses deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas;
- Segundo abordagem do problema essa pesquisa seria do tipo quantitativa, pelo uso da quantificação tanto na coleta quanto no tratamento das informações por meio de técnicas estatísticas;
- Segundo o objetivo geral, essa pesquisa seria do tipo exploratória, pois envolve o levantamento bibliográfico e na realização de entrevistas com pessoas diretamente envolvidas nos processos;
- Segundo o propósito, essa pesquisa seria do tipo Pesquisa-diagnóstica, pois estuda a viabilidade da aplicação ou não das ferramentas da metodologia DMAIC;
- Segundo o procedimento técnico, essa pesquisa seria do tipo estudo de caso, porque leva em conta a cultura organizacional e perfil gerencial da empresa.

Cooper e Schindler (2003) afirmam que, a finalidade da pesquisa é descobrir respostas para algumas questões, através da aplicação de métodos científicos, que

são desenvolvidas para aumentar as chances das informações obtidas serem utilizadas nas questões apresentadas e de serem seguras e imparciais. Sendo assim, ao se planejar uma pesquisa científica faz-se necessário examinar seus objetivos para com isso determinar o método mais apropriado para alcançá-los.

### **3.1 MÉTODO DE PESQUISA**

Segundo a base lógica de investigação, foi efetuado um estudo bibliográfico, referente ao gerenciamento da qualidade em projetos, Seis Sigma e metodologia DMAIC.

Segundo a abordagem do problema, foi fornecido pela empresa INFOLEV, um relatório quantitativo, que contempla o número de placas eletrônicas com defeito, encontrado durante seu processo de teste e homologação.

Segundo o objetivo geral, foi efetuada uma entrevista com os principais colaboradores envolvidos no processo de fabricação, montagem, teste e homologação das placas eletrônicas, afim de identificar as principais causas de determinados problemas, e como poderiam ser eliminados.

Segundo o propósito, e procedimento técnico, foram apontados algumas sugestões de melhorias, com base nos resultados de todo material estudado e levantado, ficando a cargo da empresa, implantar ou não essas sugestões.

## **4 ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO**

Neste capítulo descreveremos os resultados da aplicação do método DMAIC na empresa em análise. Iniciamos com a discussão dos critérios utilizados na identificação da oportunidade de melhoria, seguido pela descrição da análise dos dados e do processo. Por fim, trataremos a proposta de melhoria.

### **4.1 SOBRE A INFOLEV**

A Infolev Elevadores & Informática LTDA é uma empresa brasileira que atua com alta tecnologia para elevadores desde 1991. Localizada na região central de São Paulo, com sede própria de 3000m<sup>2</sup>, que a torna a maior fábrica de comandos para elevadores da América Latina.

Desenvolvendo produtos e softwares de tecnologia própria, mas sendo acessível a todas as empresas de instalação e conservação de elevadores, tem hoje sua tecnologia reconhecida pelo MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA através de incentivos concedidos pelas portarias interministeriais 075 (D.O.U. 19/05/94), 474 (D.O.U. 06/01/98) e 782 (D.O.U. 14/12/2001).

Para garantir a qualidade de seus produtos, tem uma fábrica própria, com capacidade de produção ágil e flexibilidade para atender comandos personalizados.

**MISSÃO:**

Desenvolver tecnologias para transportes verticais, que proporcionem melhorias dos equipamentos, melhor desempenho energético e colaboração com a preservação do meio ambiente. Proporcionar condições para desenvolvimento profissional dos colaboradores, facilidade na aplicação da tecnologia aos profissionais envolvidos e acessibilidade aos usuários.

**VISÃO:**

Ser reconhecida por suas inovações, atendimento diferenciado com os clientes e notório investimento em formação e capacitação de seus colaboradores.

**TESTE ELÉTRICO:**

Para completar o serviço de montagem e garantir a funcionalidade de seus produtos, tem o setor de Teste Elétrico, onde são feitas simulações dinâmicas,

inclusive simulando o funcionamento com motores.

#### TESTE ELETRÔNICO:

Todas as placas são testadas em simuladores eletrônicos, que checam com precisão todas as funções do elevador, garantindo assim a qualidade de seus produtos.

#### ASSISTÊNCIA TÉCNICA:

Sua assistência técnica, está sempre de prontidão para os eventuais reparos de placas. Possuímos equipamentos que asseguram o perfeito funcionamento do equipamento.

#### SUPORTE TÉCNICO:

Oferece aos seus clientes um atendimento direto, feito por técnicos treinados, acompanhando assim eventuais problemas nos prédios. Além disso, possui uma equipe treinada, com um mínimo de 60 horas anuais de treinamento e reciclagem possibilitando assim um atendimento rápido e eficaz, até mesmo com atendimento móvel.

#### ESTOQUE:

Possui uma enorme infraestrutura para reposições de peças, mantendo um grande estoque variado, para reposição imediata.

#### ATENDIMENTO:

Sempre atento as necessidades do cliente, a Infolev oferece um excelente atendimento com orçamentos rápidos e personalizados para cada caso. Oferece diversas formas de pagamento, encaixando-se assim nas necessidades do cliente.

Empresa com quase 22 anos de idade atua em todo o país, com sede na cidade de São Paulo e uma filial no Rio de Janeiro, exportando para países da América Latina.

Conta com 110 colaboradores diretos e faturamento bruto anual de aproximadamente R\$ 22.000.000,00.

#### **4.1.1 UM POUCO DE HISTÓRIA SOBRE A INFOLEV**

Segundo dados internos da empresa, todos os dias, mais de 10 milhões de pessoas são transportadas em elevadores com equipamentos INFOLEV.

Quando iniciou suas atividades em 1991, as empresas conservadoras de elevadores da época, desconfiavam se aquela placa eletrônica realmente poderia funcionar no lugar dos antiquados eletromecânicos. Temos que nos lembrar que em 1991, não haviam celulares em São Paulo, praticamente não se usava internet, mas os irmãos e engenheiros Paulo e Fábio Aranha acreditavam na mudança da tecnologia.

As multinacionais do setor de elevadores, já estavam utilizando comandos eletrônicos nos seus elevadores novos. Mas como viabilizar esta nova tecnologia para empresas de pequeno porte?

Desde então esse tem sido seu objetivo, desenvolver produtos e softwares com tecnologia própria e torná-la acessível a empresas instaladoras e conservadoras de qualquer porte.

Em vez de ser mais uma empresa conservadora ou fabricante concorrente com as já existentes, melhor seria unir as forças numa parceria, ou seja, a INFOLEV entrava com a tecnologia eletrônica e as empresas faziam sua instalação e manutenção. Desta forma, aliando estas duas competências, poderia ser oferecida uma tecnologia e serviço aos condomínios do mesmo nível de qualquer outra empresa de grande porte.

Essas parcerias foram de tanto sucesso que muitas persistem até hoje. E a modernização de elevadores, que até então era um negócio inexpressivo, atualmente é comercialmente tão importante como a fabricação de elevadores novos, conservação e manutenção.

Mas o que foi preciso para essa empresa viabilizar esta transformação das empresas conservadoras de elevadores?

A empresa apostou no serviço diferenciado, era preciso provar que seus comandos eletrônicos, além de funcionarem melhor que os eletromecânicos, também eram mais práticos e econômicos.

Ao longo destes quase 22 anos, concorrentes de todos os tipos foram enfrentados: nacionais, estrangeiros etc. Mesmo num mercado bem competitivo, sempre mantendo a ética, conseguiram se sobrepor às barreiras e mostrar seu diferencial.

O futuro reserva grandes possibilidades para o setor de elevadores. Segundo dados internos da empresa, o destino da humanidade é viver nas cidades. Em 1950, cerca de 30% da população mundial morava em áreas urbanas. Hoje somos 50%. Seremos 70% em 2050. Nos países em desenvolvimento, como o Brasil, a urbanização será bem mais rápida.

Nas modernas sociedades industriais as pessoas passam cerca de 80% do seu tempo no interior dos edifícios. Consequentemente, há necessidade dos usuários por conforto, segurança e eficiência.

O envelhecimento da população e a necessidade de acessibilidade seja para portadores de necessidades especiais ou mesmo idosos com dificuldades de locomoção, deve gerar grande demanda por aparelhos de transporte vertical.

Outro grande potencial será a busca quase que obrigatória por equipamentos mais eficientes do ponto de vista energético, seja por economia ou para conter o aquecimento global.

#### **4.1.2 DESENVOLVIMENTO E MONTAGEM DE PLACAS ELETRÔNICAS**

Com tecnologia própria, a INFOLEV desenvolve suas placas eletrônicas, e toda documentação para sua fabricação e montagem.

De posse de uma lista de componentes completa, inicia-se seu processo de compra, que posteriormente serão enviados para uma empresa terceirizada efetuar sua montagem. Concluído a montagem, essas placas retornam para Infolev, na qual inicia-se o seu processo de teste e homologação, antes de enviá-las para algum cliente, ou inseri-las em sua linha de produção.

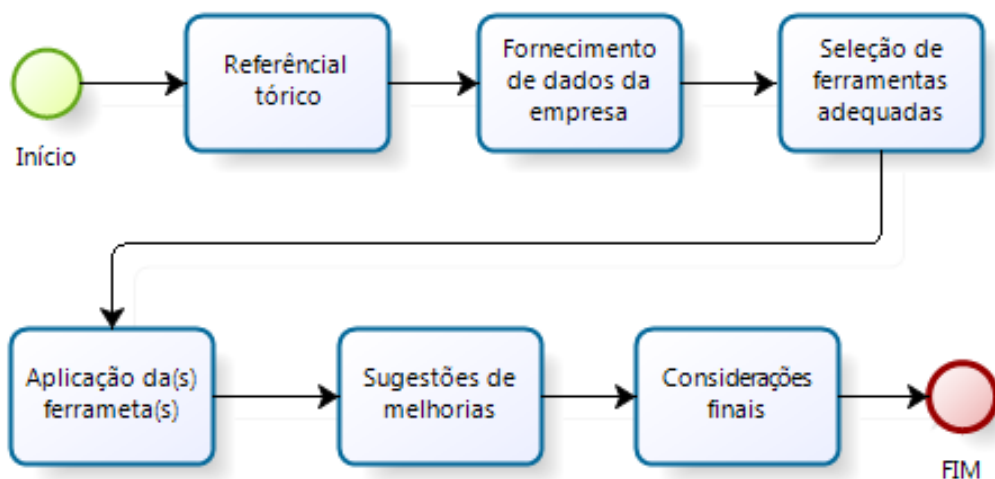
#### **4.2 ETAPAS PARA O DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO**

Com base nos procedimentos técnicos a serem utilizados, essa pesquisa será desenvolvida basicamente nas seguintes etapas:



- Revisão da literatura sobre as principais abordagens referente a pesquisa;
- Fornecimento de dados da empresa, referente aos principais defeitos encontrados em seu processo de teste e homologação de placas eletrônicas;
- Quais ferramentas serão aplicadas dentro do contexto da empresa em análise;
- Aplicação da(s) ferramenta(s) do DMAIC;
- Com base nos resultados, sugerir oportunidades de melhoria.
- Considerações finais;

O fluxograma da Ilustração 7 foi delineado para que se alcance os objetivos propostos.



*Ilustração 7: Fluxograma do desenvolvimento do trabalho, conforme os autores PANDE, NEUMAN e CAVAGH (2001).*

### **4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC**

Tomando-se como referência a bibliografia estudada, os objetivos que foram propostos nesta pesquisa e o perfil da empresa em análise, ficou muito claro a utilização das ferramentas: Definir, Medir e Analisar. Por último, apenas as sugestões de melhorias serão apontadas, mas não seus testes ou suas aplicações.

A seguir vamos mostrar a aplicação de cada uma delas.

#### **4.3.1 FASE DEFINIR**

##### Objetivos:

Definir o objetivo de melhoria, identificando o problema, suas relações e os envolvidos.

##### Atividades:

- Identificação dos processos centrais de negócios;
- Definição de saídas de processo;
- Definição das necessidades internas;
- Definição do escopo e;
- Criação de mapas de processos centrais de alto nível.

##### Ferramentas:

- SIPOC;
- Questionário não estruturado;

##### **4.3.1.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DEFINIR**

Definiu-se que essa pesquisa abordará o número de falhas encontradas durante o processo de fabricação de placas eletrônicas da empresa Infolev Elevadores & Informática LTDA.

A base de dados coletados tomou como referência, o relatório no final do lote, contemplando o índice de placas com defeito dentro de um mesmo lote. Esse relatório possui os dados referentes a todas as placas que foram montada em um lote inteiro, classificando a situação de cada uma delas, de acordo com o tipo de problema.

Além do relatório, foi executada uma entrevista não estruturada, com o objetivo de descobrir os aspectos que o entrevistado considera mais relevantes sobre determinados critérios de qualidade, por meio de uma conversação.

Foram realizadas com as responsáveis pela coordenação dos setores

envolvidos, durante desenvolvimento da pesquisa, responsáveis por processos-chave e outros funcionários conforme a necessidade do trabalho. Os nomes e funções de cada membro da equipe são apresentados a tabela 5.

*Tabela 5: Funcionários que participaram do projeto*

Nome	Função
Luís Rios	Coordenador eletrônica
Edson P. Paixão	Coordenador assistência técnica
Bruno Araújo	Analista de desenvolvimento (ex auxiliar assistência técnica)
Damiana Rodrigues	Coordenadora da qualidade
Edson H. Umemura	Responsável montagem de placas (empresa VRE)

FONTE: Infolev

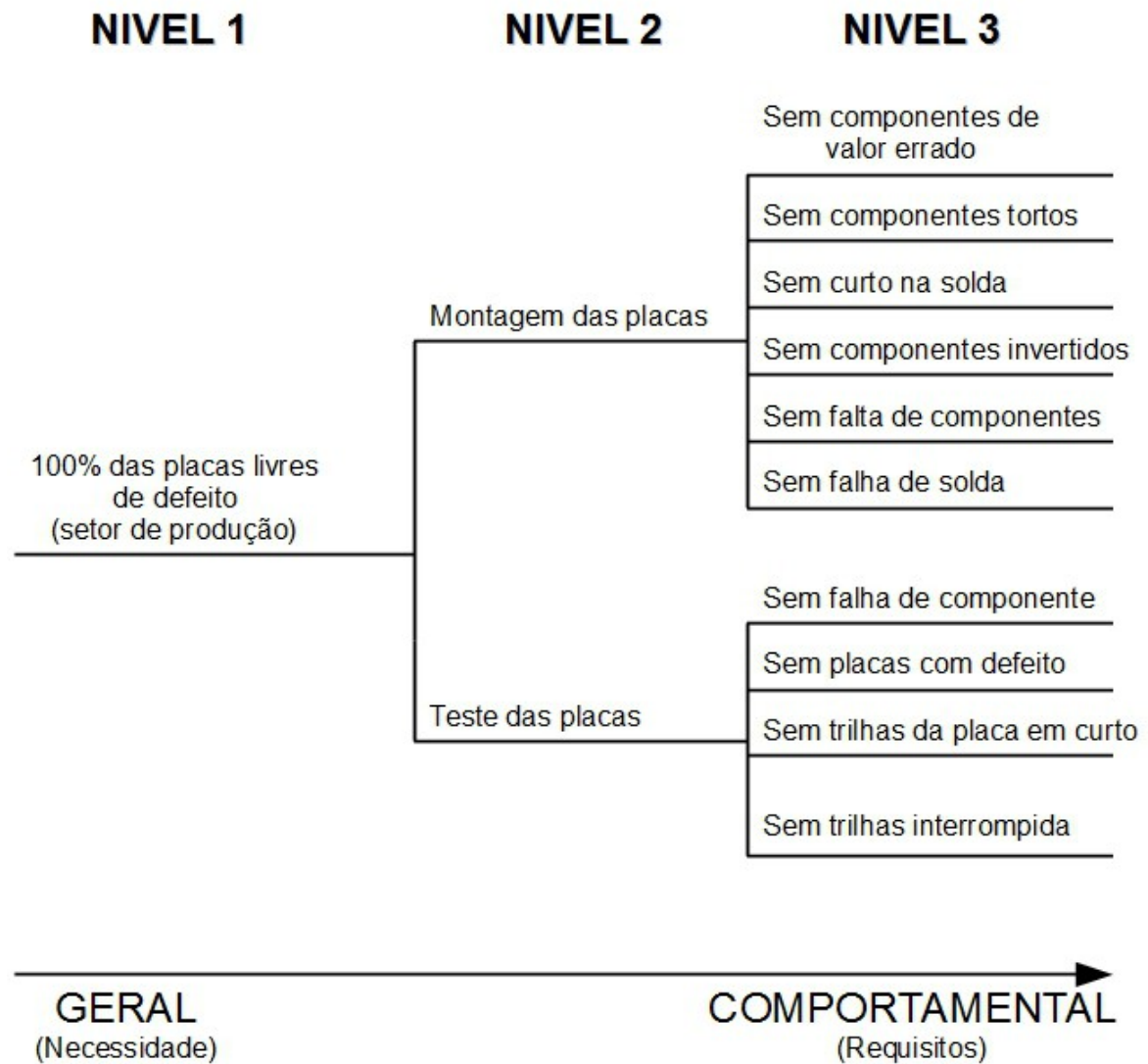
De posse da entrevista não estruturada (Apêndice), aliado com o relatório final correspondente ao teste final em mãos, podemos constatar o elevado índice de placas com defeito, acarretando um elevado grau de insatisfação de nossos clientes internos (setor de teste e homologação), pois quanto maior o número de placas com defeito, mais retrabalho é gerado durante a linha de produção.

#### **4.3.1.2 IDENTIFICAÇÃO DA OPORTUNIDADE DE MELHORIA**

As atividades para definir a oportunidade de melhoria começaram pela identificação do processo de teste e homologação de placas.

O processo de teste e homologação de placas consiste em efetuar um *checklist* de itens à serem testados e aprovados um a um. Em um primeiro momento, pode-se pensar que os únicos clientes desse processo são os clientes finais que comprem o produto. No caso da empresa em análise, pode ser vista como a principal interessada nos resultados do serviço. Desta forma, foi definido um cliente do processo: colaboradores internos, responsáveis pela execução do teste de validação e homologação das placas.

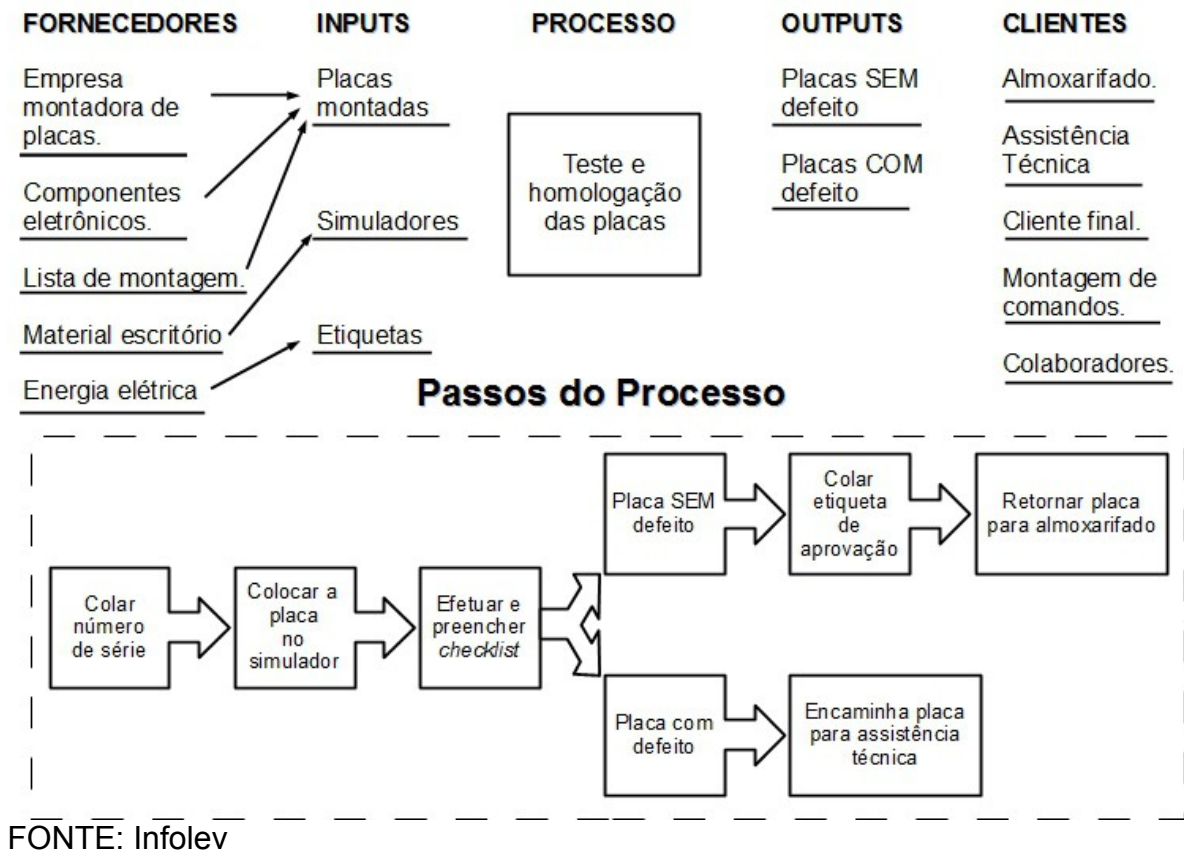
Definido os principais colaboradores envolvidos no processo, foi verificada suas necessidades e criadas as árvores do que é crítico para a qualidade (CPQ) (Ilustração 8).



FONTE: Infolev.

*Ilustração 8: Árvore CPQ dos colaboradores internos, conforme o autor Eckes.*

O próximo passo foi a elaboração do mapa SIPOC (Ilustração 9), que identificou as atividades principais da empresa em análise, assim como seus requisitos.

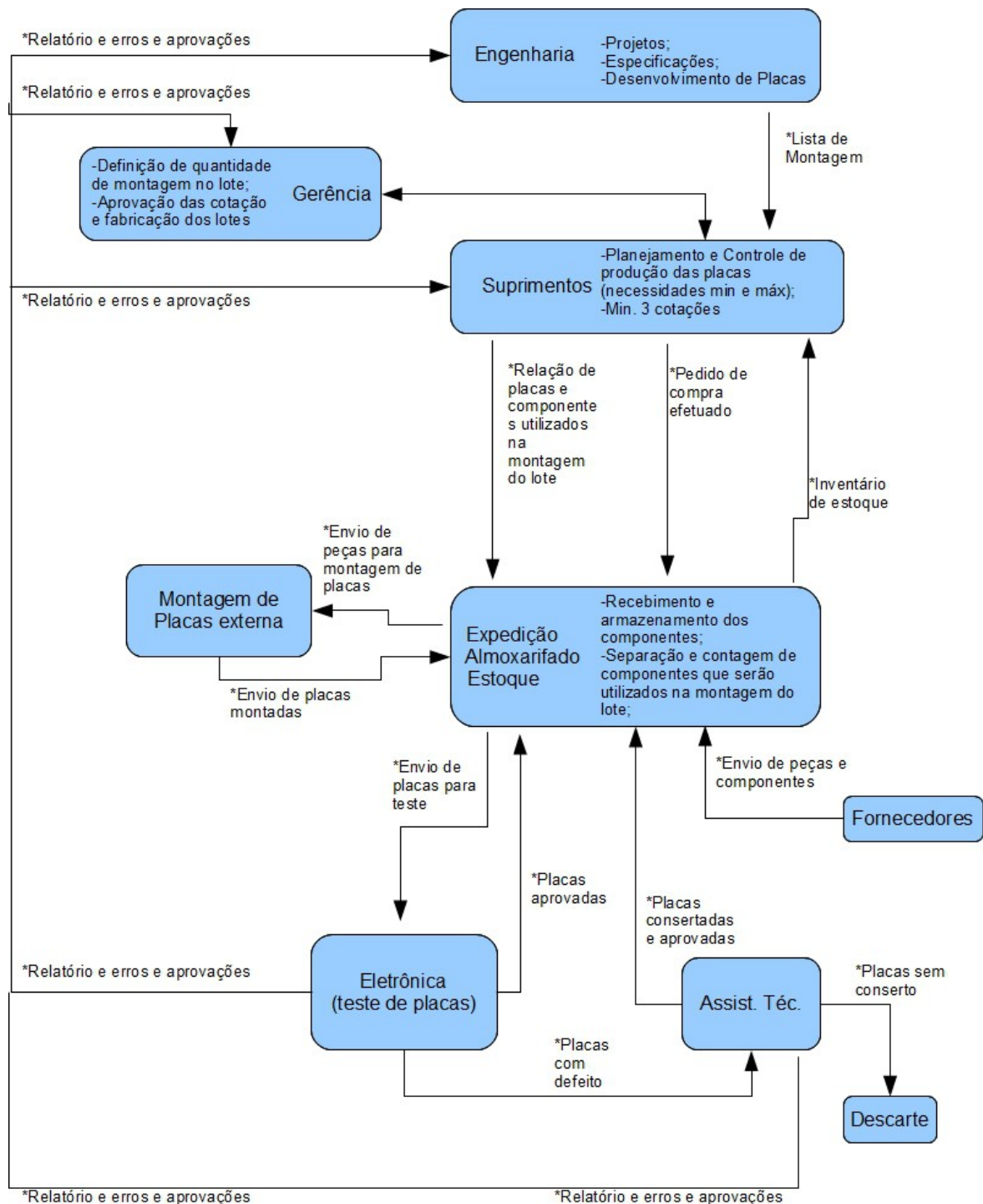


*Ilustração 9: SIPOC do processo da empresa em análise, conforme o autor Eckes.*

Um ponto importante foi a necessidade de que o projeto de melhoria estivesse alinhado aos objetivos da empresa. A empresa já desenvolveu um trabalho de melhoria de fornecedores, aprimoramento de seus simuladores, e mesmo assim não houve melhoras significativas.

O mapeamento do processo indicou que a redução do número de placas com defeito está ligada a um requisito de qualidade da empresa em análise, que é o de manter baixo estes números, consequentemente reduzindo custos com retrabalho.

Para que estes fatores fossem observados no processo, foi realizado o mapeamento do fluxo de manipulação das placas (Ilustração 10).



FONTE: Infolev

Ilustração 10: Fluxo de manipulação das placas.

Havia um interesse especial em reduzir o número de placas com defeito antes mesmo de serem utilizadas, ou seja, placas novas e recém-chegadas e que apresentaram ou apresentarão algum tipo de problema. A implantação na melhoria de fornecedores e aprimoramento de seus simuladores foi uma medida que visou a

redução desse tipo de problema, mas não foram realizados outros estudos que indicassem medidas viáveis de serem aplicadas.

Assim, a redução do número de placas com problemas mostrou-se uma oportunidade de melhoria alinhada com objetivos da empresa em análise, cuja solução não era predeterminada ou óbvia.

Por meio da observação dos processos de fabricação e montagem de placas eletrônicas, da revisão da literatura, e na aplicação da ferramenta DEFINIR, conclui-se que a utilização das ferramentas disponíveis no DMAIC devem ser adequadas ao contexto da aplicação.

Concluído os objetivos da ferramenta definir, vamos iniciar a aplicação da próxima ferramenta do DMAIC, medir.

#### **4.3.2 FASE MEDIR**

##### Objetivos:

Coletar dados sobre o processo.

##### Atividades:

- Planejar e executar medições de desempenho relativamente a requisitos dos colaboradores e;
- Obter medidas de base de defeito e identificar oportunidades de melhoria.

##### Ferramentas:

- Relatório internos contendo índice de falhas, durante processo de teste e homologação das placas.

##### **4.3.2.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MEDIR**

A variável da coleta de dados foi definida com base no relatório final, contendo os erros encontrados nas placas, subdividido em categorias definidas. Partindo do princípio que parte do processo de montagem das placas são efetuadas de maneira automatizada (através de máquinas programadas), não era de se esperar um número elevado de placas que contem algum erro de fabricação, e seu valor deveria estar próximo de zero.

Considerando que, parte do processo de montagem das placas é automatizado, decidiu-se verificar se o número de placas com falhas de montagem, estava relacionado com a quantidade de placas produzidas dentro de outros lotes, se havia diferença significativa entre eles, ou seja, se a quantidade total de placas fabricadas está influenciando na quantidade de falhas de montagem. Para isso, foram adquiridos os relatórios finais referentes a todos os lotes já fabricados.

Os adquiridos sobre a quantidade de placas com defeito em cada lote, podem ser observados na Tabela 6:

*Tabela 6: Placas com defeito no lote.*

<b>Lote</b>	<b>Quantidade total de placas</b>	<b>Placas com falhas</b>	<b>Percentual de placas com algum tipo de falha</b>	<b>Média de falhas, pela quantidade total de placas fabricadas</b>
2100	300	33	11,00%	0,11
2101	300	36	12,00%	0,12
2102	600	78	13,00%	0,13
2103	1100	179	16,27%	0,16
2200	700	150	21,43%	0,21
2202	800	48	6,00%	0,06
2204	900	155	17,22%	0,17
<b>Total</b>	<b>4700</b>	<b>679</b>	<b>14,45%</b>	<b>0,14</b>

FONTE: Infolev

Verifica-se que a média de placas que darão algum tipo de falha é alta, acima dos 10%. Segundo dados da empresa em análise, o valor acima de 5% de falhas, já é considerado muito alto, passível de atitudes que visem sua redução.

Tomando como referência o relatório final de teste e homologação das placas, as falhas encontradas podem ser divididas em subcategorias:

- Falha de montagem: Solda em curto, componentes com solda fria ou sem solda, componentes invertidos, componentes colocados de forma incorreta (tortos), etc;



- Falha de componente: Componentes queimado ou com funcionamento incorreto;
- Falha de placa: Trilhas interrompidas ou trilhas em curto;
- Outras falhas: Defeito de origem desconhecida (pode ser interna, transporte, manuseio e etc);
- Sem conserto: Placas sem condições de reparo.

Os dados referentes a cada lote, pode ser observados na Tabela 7:

*Tabela 7: Tipos de defeito*

<b>Lote</b>	<b>Falha de Montagem</b>	<b>Falha de Componentes</b>	<b>Falha de Placa</b>	<b>Outras Falhas</b>	<b>Sem Conserto</b>
2100	66,67%	24,24%	0,00%	9,09%	0,00%
2101	77,78%	19,44%	0,00%	2,78%	0,00%
2102	28,21%	69,23%	0,00%	2,56%	0,00%
2103	26,26%	69,27%	0,00%	2,23%	2,23%
2200	54,00%	44,00%	0,00%	0,00%	2,00%
2202	81,25%	16,67%	0,00%	2,08%	0,00%
2204	53,55%	45,16%	0,00%	0,00%	1,29%

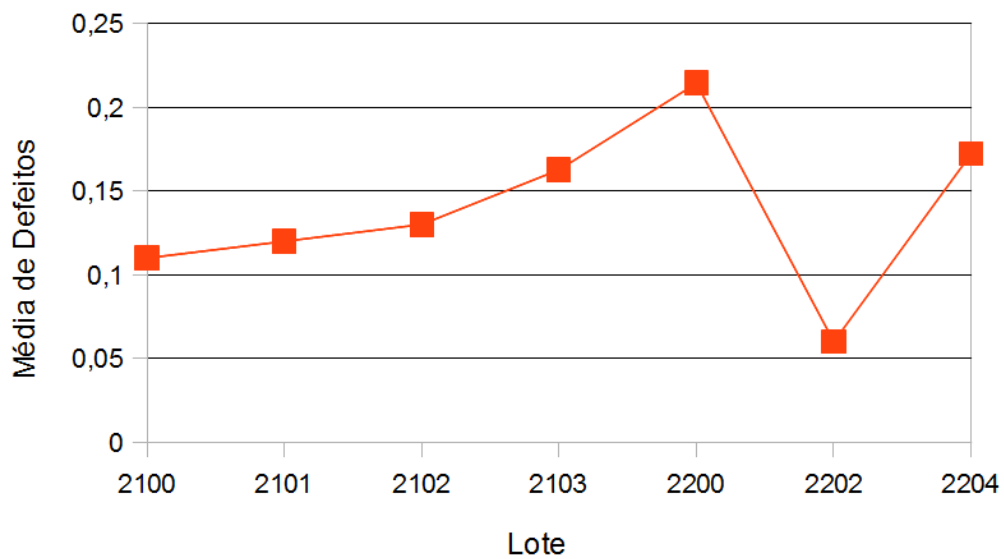
FONTE: Infolev

Observando o percentual de erros relacionados ao processo de montagem, nota-se que esses números são expressivamente maiores do que os demais.

Vale observar, que durante o processo de homologação dos lotes 2102 e 2103, houve uma quantidade elevada em falha de componentes.

Em todos os lotes, as médias de placas com defeito por placas fabricadas, pode ser observado no gráfico da Ilustração 11.

Definidos os dados da ferramenta medir, vamos iniciar a aplicação da próxima ferramenta do DMAIC, análise.



FONTE: Infolev.

*Ilustração 11: Média de defeitos por lote*

### 4.3.3 FASE ANALISAR

#### Objetivos:

Conversão dos dados em informações que indiquem soluções e identificar priorizar as causas raiz do problema.

#### Atividades:

- Analisar os dados e o processo;
- Desenvolver hipóteses sobre causas do problema e;
- Encontrar soluções focalizadas em causas raiz.

#### Ferramentas:

- FMEA e;
- Diagrama de causa e efeito;

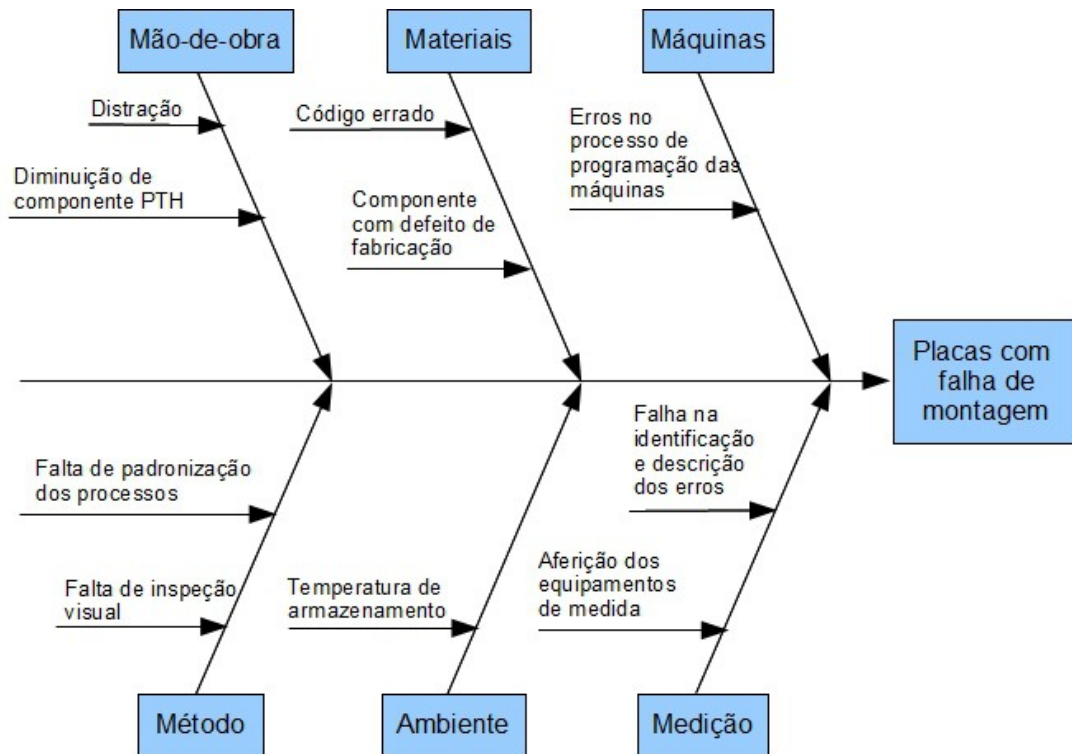
#### 4.3.3.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA ANALISAR

Na análise das causas do problema, foram elaborados Diagramas de Causa e Efeito, um formulário FMEA, em conjunto com os funcionários da empresa que participaram da pesquisa.

Por meio da elaboração dos diagramas de causa e efeitos, a equipe levantou

ideias sobre o que pode explicar o problema referente as falha de montagem das placas.

O diagrama de causa e efeito sobre as falhas de montagem (Ilustração 12) indicou que em relação à mão de obra:



FONTE: Infolev.

*Ilustração 12: Diagrama de Causa e Efeito sobre as falhas de montagem.*

Distração: Devido a falta de concentração durante o processo de inserção de componentes nas placas, causa componentes invertidos, valores trocados e falta de componentes;

Diminuição de componentes PTH: Atualmente a placa é composta por componentes com tecnologia PHT (montagem de forma manual) e em SMD (montada através de máquinas automatizadas). Efetuar uma revisão na placa, utilizando o maior número possível de componentes em SMD, tornaria sua montagem menos manual, mais automatizada e com zero erros de montagens.

Com relação aos materiais:

Código errado: Foi relatado como sendo comum de se ocorrer, que no ato do recebimento do pedido, possuir um determinado código de componente, em sua embalagem conter o mesmo código, mas devido a algum erro do fornecedor, o código no corpo do componente está errado. Uma falha na verificação de seus códigos antes de iniciar o processo de montagem, pode gerar problemas em todo o lote de placas com componentes indevidos.

Componentes com defeito de fabricação: Existem no mercado de componentes eletrônicos, uma série de fornecedores de matéria-prima, cuja procedência dos fabricantes dos componentes é muitas vezes duvidosa. Com isso, é comum de se aparecer componentes com defeito de fabricação e/ou falsificados. Defeitos que serão descobertos somente após o processo de montagem das placas.

Com relação a máquinas, um erro durante o processo de programação das máquinas, um erro incomum de se ocorrer mas que já ocorreu e deu diversos transtornos, causaria um erro de montagem em todas as placas do lote, ou em parte deles até o momento que seja identificado.

Com relação aos métodos:

Falta de padronização nos processos: A falta de padronização e controle nos processos de montagem (como temperatura da solda de estanho, tempo de soldagem manual), foi indicada como uma causa determinante na ocorrência de erros de montagem, ocasionando o aumento do número de erros, quando a quantidade de placas a ser produzida aumenta.

Falta de inspeção visual: Melhorar a inspeção visual no final do processo de montagem, foi apontada como sendo outra causa, que pode eliminar pequenos erros de montagem, como curto nas soldas, sujeiras, componentes sem solda, solda fria e etc.

Com relação ao ambiente, foi relatado que a temperatura de armazenagem dos componentes é muito importante. Atualmente sem o seu devido cuidado, faz com que em determinados componentes ocorra a oxidação de seus terminais, prejudicando sua soldagem nas placas.

Com relação a medição:

Falha na identificação e descrição dos erros: Durante o processo de teste e homologação das placas, um erro no cadastro das falhas pode distorcer os dados. Foi relatado que as vezes se acha que o defeito é de montagem, mas durante a troca do componente esse erro é automaticamente sanado (curto na solda), e a técnica acaba cadastrando como erro de componente e não de montagem.

Aferição dos equipamentos de medida: A falta de aferição nos equipamentos de medida, pode ocasionar erros. Um erro de aferição no termostato, cuja função é controlar a temperatura de soldagem, pode danificar a placa se for muito elevada, ou não soldar corretamente o componente se for muito baixa.

O diagrama de causa e efeito a respeito dos erros de montagem das placas (Ilustração 12) indicou que de falta de uma padronização nos métodos utilizados na montagem de placas está influenciando na quantidade de erros encontrados.

As ideias apresentadas nos diagramas de causa e efeito foram analisadas pelo grupo, que realizou uma votação na qual foi reduzido o número de causas prováveis referentes as falhas de montagem. A partir disso, foi feito o FMEA (Tabelas 8 e 9), que evidenciou os problemas enfrentados, seus efeitos e possíveis ações corretivas. Os problemas nos métodos utilizados receberam NPR (Número de Prioridade de Risco) igual a 36, numa escala de 1 a 1000, sendo o problema mais importante dentre os levantados. O desenvolvimento de uma metodologia padrão, treinamento e conscientização dos funcionários e uma possível giga de teste e homologação ainda na empresa montadora de placa, antes do envio para Infolev, foram as ações sugeridas pela equipe.

Tabela 8: FMEA parte 1.

Etapa do processo	Modo de falha	Efeito de falha	(S)	Causa(s) potencial(is)	(O)	Controles atuais	(D)	(NPR)
Distração	-Placa apresentando algum tipo de defeito estranho em campo; -Elevador com algum tipo de defeito estranho e intermitente;	-Demora na descoberta do problema;	2	Componentes PTH exige excesso mão-de-obra humana, sujeito a erros de distração	1	-Teste e homologação das placas em laboratórios, de maneira interna -Todas as placas são testadas 100%	2	4
Diminuição de componentes PTH		-Custo com ligações para suporte técnico;	1	Componentes PTH exige excesso mão-de-obra humana, sujeito a erros de cansaço	1		1	1
Código errado		-Custo com o transporte da placa para reparo; -Insatisfação na demora de se encontrar o defeito; -Perda de cliente em compras futuras;	5	Erro do fornecedor e/ou recebimento	1		1	5
Componente com defeito de fabricação			5	Erro do fornecedor e/ou recebimento	2		3	30
Erro no processo de programação das máquinas			1	Novas placas requerem novas programações, susceptíveis a novos erros	1		1	1
Falta de padronização dos processos			9	-Temperatura de solda elevada. -Tempo de solda com controle manual	2		2	36
Falta de inspeção visual			9	Com aumento da produção, a inspeção visual se torna mais superficial	2		2	36
Temperatura de armazenamento			3	Componentes acomodados em estoque sem controle algum da temperatura e umidade relativa do ar	1		2	6
Falha da identificação e descrição dos erros			1	Erro no cadastro e descrição correta das falhas encontradas.	1		3	3
Aferição dos equipamentos de medida			5	Devido ao excesso de produção esquece-se muitas de aferir equipamentos importantes como termostato de temperatura	1		1	20

**LEGENDA:**

(S) → Índice de Severidade (de 0 ~ 10);

(O) → Índice de Ocorrência (de 0 ~ 10);

(D) → Índice de Detecção (de 0 ~ 10);

(NPR) → Número de Prioridade de Risco (de 0 ~ 1000).

Tabela 9: FMEA parte 2.

Etapa do processo	Modo da falha	Efeito de falha	Causa(s) potencial(is)	(NPR)	Ações recomendadas	Responsável e Prazo
Falta de padronização dos processos	-Placa apresentando algum tipo de defeito estranho em campo; -Elevador com algum tipo de defeito estranho e intermitente;	-Demora na descoberta do problema;	-Temperatura de solda elevada;	36	-Implementar controle digital e automático para medição e controle da temperatura de soldagem;	Empresa terceirizada e responsável pela montagem das placas  Prazo indeterminado
		-Custo com ligações para suporte técnico;	-Tempo de solda com controle manual;		-Implementar controle digital para o tempo de soldagem das placas.	
Falta de inspeção visual		-Custo com o transporte da placa para reparo; -Insatisfação na demora de se encontrar o defeito; -Perda de cliente em compras futuras;	Com aumento da produção, a inspeção visual se torna mais superficial	36	-Inspeccionar as placas de maneira mais criteriosa;  -Desenvolver uma jiga de testes, para que a placa seja previamente testada na empresa terceirizada, assim o número de falhas de montagem que chaga na Infolev seriam menores.	
Componente com defeito de fabricação			Erro do fornecedor e/ou recebimento	30	-Investigar procedência do fornecedor;  -Não utilizar como referência custo muito baixo de componentes  -Testar os componentes no ato de seu recebimento.  -Efetuar teste de "bum-in"	Setor de suprimentos Infolev  Prazo imediato  Setor Infolev para o teste e homologação das placas  Prazo indeterminado

#### **4.4 SUGESTÕES DE MELHORIA**

Como resultado da aplicação das ferramentas no método DMAIC no processo de fabricação e montagem de placas eletrônicas, chegou-se em algumas sugestões de ações que podem reduzir o número de placas com defeito de montagem, dentro de um lote.

Primeiramente, os dados levantados mostram que há uma elevação considerável no número de placas com falhas de montagem, e que a implementação de um sistema de controle digital durante o processo de montagem, pode reduzir consideravelmente esses números.

Além disso, ao se implementar um processo de inspeção visual mais criterioso, em conjunto com uma giga de testes após o processo de montagem, antes de despachar o material, pode reduzir o número de placas com defeito que aparece para a empresa Infolev. Por mais que para a empresa terceirizada de montagem, esse número de falhas se mantenha elevado, para a empresa Infolev esse número pareceria muito menor. Reduzindo assim, gastos com novos testes e retrabalho referentes a consertos e material encostado em estoque com algum tipo de defeito, atendendo assim dois requisitos importantes do programa de qualidade Seis Sigma: o foco no cliente e o impacto financeiro.

Sugere-se também a implementação de um método mais eficaz no processo de recebimento e de componentes eletrônicos, assim como a seleção dos fornecedores.

Por fim, seria recomendável a implementação de um método de acompanhamento mais intenso durante o processo de teste e homologação das placas, com a elaboração e divulgação de gráficos e planilhas separando os defeitos por categoria de uma forma mais clara e objetiva, atacando cada problema de forma individual.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os benefícios de um sistema de gestão de qualidade nas empresas, aplicados em melhorias de processos sobressai como fator estratégico para o desempenho do processo produtivo e sua aplicação começa a ser vistos como investimento, cujos retornos se darão na maior eficiência da produção e na melhor qualidade dos produtos gerados.

Entretanto, a qualidade do produto deve ser o resultado do esforço conjunto de todas as atividades, organizações e pessoas envolvidas: proprietários, projetistas, funcionários e fornecedores. Por essa razão, pode-se dizer que a qualidade do produto final é resultado de uma cadeia de elos da qualidade, na qual cada um é fundamental e que não se terá um produto com a qualidade pretendida se um dos elos também não tiver a qualidade para ele prevista.

O objetivo desta pesquisa foi alcançado à medida que conseguiu identificar uma oportunidade de melhoria em uma única empresa, por meio da aplicação do método DMAIC.

Observou-se que o número de placas que apresentam algum tipo de falha é considerado elevado pela empresa Infolev, mas com um grande ponto positivo de que todas as placas são 100% testadas antes do envio para o cliente.

O projeto de melhoria possibilitou o aprendizado da equipe de funcionários da empresa em relação aos seus processos produtivos e meios de torná-lo mais eficiente. A equipe compreendeu a importância do registro de dados, para que suas decisões sejam baseadas em fatos e dados, não em intuições, evitando ambiguidades, e da importância da participação efetiva dos colaboradores da equipe para que um projeto seja bem-sucedido. Realizando uma avaliação ao final do projeto junto da equipe, eles consideraram que houve um aumento de seus conhecimentos sobre os processos e adquiriram uma visão gerencial dos processos, contribuindo para seu aperfeiçoamento daqui em diante.

Há a previsão de que as propostas de melhoria sugeridas neste trabalho poderão ser aplicadas, aperfeiçoando o processo produtivo de montagem das placas eletrônicas.



O estudo contribuiu para o início de uma gestão que foca a eficiência e eficácia dos processos produtivos, contribuindo não apenas para a satisfação dos clientes internos (funcionários) como também para a utilização mais responsável dos recursos, uma vez que estes recursos podem ser revertidos no benefício de outras atividades da empresa.

### **5.1 LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

A primeira limitação desta pesquisa diz respeito aos aspectos estatísticos da empresa em análise.

A aplicação de uma ferramenta de gerenciamento da qualidade, para melhora de processos, não é vista como uma necessidade por parte de alguns colaboradores mais antigos, acarretando em baixa motivação e resistência em seu desenvolvimento.

Adicionalmente, a empresa não possui processos produtivos bem estruturados e não há sistemas inteligentes de medição. Assim, indicadores de desempenho, custo e produtividade não são apurados, dificultando a aplicação de uma forma completa do método DMAIC.

Uma das ideias iniciais era verificar se havia informações distintas sobre os tipos de defeito. Na verdade, o que foi apresentado foi uma descrição muito superficial de defeitos, inviabilizando a utilização de algumas ferramentas estatísticas da qualidade mais complexas.

Assim, como sugestão de trabalho futuro, pode-se realizar o levantamento dos defeitos sempre relacionando o custo que eles representam para empresa.

Por fim, outra sugestão é a criação de um modelo de implementação do método DMAIC na Infolev de maneira integral, em toda sua cadeia produtiva.

As observações foram feitas sob a ótica do pesquisador e são passíveis de viés.

## REFERÊNCIAS

CAULCUTT, Roland. **Why is Six Sigma so successful.** *Journal of Applied Statistics*, Vol. 28, nos. 3 & 4, 2001, p. 301 – 306.

COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela S. **Métodos de Pesquisa em Administração.** 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

CROSBY, P. B. **Qualidade sem lágrimas.** Rio de Janeiro: José Olympio, 1994.

DEMING, W. Edwards; **Qualidade a revolução da administração.** São Paulo: Marques Saraiva, 1990.

DIEHL, A. A.; TATIM, D. C. **Pesquisa em ciências sociais aplicadas: Métodos e técnicas.** SP: Prentice Hall.

ECKES, George. **A Revolução Seis Sigma: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucro.** 3 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

GEORGE, Michael L. **Lean Seis Sigma para Serviços.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2004.

ISHIKAWA, K. **Tqc-total Quality Control | Estratégia e Administração da Qualidade.** IM & C, 1985.

JURAN, M. Joseph, **Controle da qualidade Vol. 2.** São Paulo: Makron, 1991.

KERZNER, Harold. **Gestão de Projetos As Melhores Práticas** - 2ª Edição - Bookman, 2004.

Mora J., Carlos H.; Lima, Edmilson Revista Eletrônica de Ciências Administrativas (RECADM – ISSN 1677-7387) – **Programa Seis Sigma em pequenas e médias empresas: Revisão e recomendações.** Disponível em <http://revistas.facecla.com.br/index.php/recadm/> Acessado em 08/09/2012.

PANDE, Peter S., NEUMAN, Robert P., CAVAGH, Roland R. **Estratégia Seis Sigma. Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

PEREZ, Wilson M. **Seis Sigma: Compreendendo o Conceito, as Implicações e os Desafios.** 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

PMI – Project Management Institute. **Guia do Conhecimento de Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK).** 4. ed. Pennsylvania: Global STANDARD, 2008. 459 p.

Rotondaro, et. al. **Seis Sigma – Estratégia Gerencial para a Melhoria de processos, Produtos e Serviços.** 1. ed. 4. reimpr. São Paulo: Atlas, 2006. 375 p.

SASHKIN, M., KISER, K. J. **Gestão da Qualidade Total na prática.** Editora Campus. Rio de Janeiro, 1994.

Severino, A. J. **Metodologia da trabalho científico.** 23. ed. rev. e atualizada São Paulo: Cortez, 2012. 304 p.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, S; HARLAND, C; HARRISON, A; JOHNSON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 1996.

SOGUMO, F.; RAMOS, F. W.; MARANHO, F. M.; SILVA, F. I. **Utilização de pratos e bandejas nos restaurantes universitários da UNICAMP**. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*. Agosto, 2005. Volume 1, Número 1.

STEVENSON, W.J. **Estatística Aplicada à Administração**. São Paulo: Harbra, 1981.

TAGUCHI, G.; ELSAYED, A.; HSIANG, T. **Taguchi Engenharia da Qualidade Em Sistemas de Produção**. São Paulo: Mc Graw Hill, 1990.

VARGAS, Ricardo Viana. **Gerenciamento de Projetos** – 7ª Edição – Rio de Janeiro: Brasport, 2009.

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

## **APÊNDICE I – QUESTIONÁRIO NÃO ESTRUTURADO**

1. Dentro do processo de fabricação e montagem das placas eletrônicas, o que seria um fator decisivo para a qualidade?
  
2. Na sua opinião, no interior de seu setor de atuação, o que você considera uma placa com alta, média e baixa qualidade de montagem?
  
3. Quais são as principais falhas encontradas durante sua atuação no processo de fabricação de montagem das placas?
  
4. Na sua opinião, qual seria o principal fator causador das falhas encontradas?
  
5. Na sua opinião, como poderíamos eliminá-las?