

**JACKSON FABIANO ALEXANDRE WITTACZIK**

**UMA PROPOSTA DE MODELO PARA PROJETO DE PROCESSO**

Dissertação submetida à aprovação da  
Universidade Federal de Santa Catarina para a  
obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de  
Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fernando A. Forcellini

**Florianópolis**

**2004**

**JACKSON FABIANO ALEXANDRE WITTACZIK**

**UMA PROPOSTA DE MODELO PARA PROJETO DO PROCESSO**

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de “Mestre em Engenharia”, Especialidade em Engenharia de Produção e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

---

Prof. Edson Pacheco Palladini, Dr  
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

---

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr.  
Orientador

---

Prof. Cristiano Vasconcellos Ferreira, Dr. Eng.

---

Prof. Rodrigo Lima Stoeterau, Dr.

*Em homenagem a minha esposa, ao meu  
pai, a minha mãe, às minhas filhas,  
sentido da minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família: Andreza, Adriele, Ayla;

Aos professores, Osmar Possamai e Fernando Forcellini e membros da banca pela orientação e apoio;

A UFSC, pela confiança na realização deste trabalho;

Aos colegas do PPGEF, por toda a ajuda e convivência;

A comunidade acadêmica, pela acolhida, apoio e compreensão;

As pessoas que se relacionaram diretamente com a realização deste trabalho, principalmente no estudo de caso.

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	v
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	vi
<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	13
<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1.GENERALIDADES.....	14
1.2. OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES.....	14
1.3.DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DESTA PESQUISA.....	15
1.4.PREMISSAS E HIPÓTESES.....	15
1.4.1.Premissas.....	15
1.4.2.Hipóteses.....	16
1.5.METODOLOGIA DA PESQUISA.....	16
1.6.JUSTIFICATIVA.....	17
1.7.ESTRUTURA DO TEXTO.....	18
<b>2. ESTADO DA ARTE</b> .....	19
2.1 Análise da Questão Ambiental : Importância da Preservação.....	19
2.1.1 O Homem e o Ambiente.....	19
2.2 Globalização e Desenvolvimento Regional.....	23
2.2.1 Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social Empresarial .	29
2.3 A Qualidade na empresa.....	30
2.3.1 Normas ISO e a Qualidade.....	35
2.4 Modelos e Ferramentas.....	36
2.4.1.Ciclo PDCA.....	36
2.4.2. Modelo MASP ou MAMP.....	38

2.4.3. Método QC story .....	39
2.4.4. Método do Ciclo de oportunidades .....	39
2.4.5. Método do processo de melhoria da qualidade .....	40
2.4.6. Método da análise sistêmica do problema .....	41
2.4.7. Método da análise de valor .....	41
2.4.8. Análise da atividade de área .....	42
2.4.9. Método para análise crítica e melhoria do controle do processo produtivo.....	42
2.4.10.Método seis sigma .....	50
2.4.10.1. Implantação seis sigma .....	53
2.5.Modelo baseado nos estudo de Rasis, Glitlow, Popvick, Valmir .....	58
2.5.1. Fase definir.....	58
2.5.2. Fase medir .....	59
2.5.2.1.Fluxograma do processo .....	59
2.5.2.2.Mapeamento do processo .....	60
2.5.2.3.Análise da capacidade do processo .....	60
2.5.2.4.Medição do nível seis sigma do processo .....	61
2.5.2.5.Desdobramento da função qualidade.....	65
2.5.2.6. Análise do modo dos efeitos de falha.....	65
2.5.2.7. Análise do sistema de medição .....	67
2.5.3.Fase analisar.....	70
2.5.3.1. Análise da correlação .....	70
2.5.3.2. Regressão Múltipla.....	69
2.5.3.3. Análise da variância .....	72
2.5.3.4. Análise multi-vari .....	75
2.5.4. Fase melhorar .....	75
2.5.4.1.Projeto de experimentos.....	75
2.5.4.2. RSM – pontos centrais compostos .....	78
2.5.4.3. RSM – Box-Behnken .....	79
2.5.6.Fase controlar .....	85
2.5.6.1.Controle estatístico do processo .....	85
2.5.6.2.Cartas de controle .....	87

<b>3. MODELO DE AUXÍLIO AO PROJETO DE PROCESSO.....</b>	<b>90</b>
3.1 Definir .....	90
3.1.1. Clarificar as necessidades dos clientes.....	90
3.1.2. Definir as necessidades .....	91
3.1.3. Definição do processo a ser melhorado .....	91
3.1.4. Proposta do projeto .....	92
3.2 . Fase medir .....	92
3.2.1. Identificar as variáveis de entrada e saída do processo produtivo .....	92
3.2.2 Implementar planos para a coleta de dados.....	96
3.2.3. Avaliação do sistema de medição .....	96
3.3. Fase analisar .....	97
3.3.1. Análise da correlação .....	98
3.3.2. Regressão Múltipla.....	98
3.3.3. Análise Multi-vari .....	99
3.4. Fase melhorar .....	99
3.4.1. Metodologia de superfície de resposta.....	100
3.4.2. RSM-Box-Behnken.....	101
3.5. Fase controlar .....	102
3.5.1. Controle estatístico do processo .....	101
3.5.2. Cartas de controle .....	103
<b>4. APLICAÇÃO DO MODELO .....</b>	<b>105</b>
4.1 Definir .....	105
4.2 Fase medir .....	107
4.2.1. Fluxograma do processo .....	107
4.2.2. Mapeamento do processo .....	107
4.2.3. Medição do nível seis sigma do processo .....	108
4.2.4. Desdobramento da função qualidade.....	109
4.2.5. Análise do modo e dos efeitos de falha.....	110
4.3. Fase analisar .....	111
4.3.1. Análise multi-vari .....	111
4.4. Fase Melhorar .....	112
4.5. Fase controlar .....	112
4.5.1. CEP das Variáveis Otimizadas.....	112

<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>114</b>
5.1.Análise dos resultados em função dos objetivos .....	114
5.2.Sugestão para trabalhos futuros .....	115
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>116</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Empresa como Coleção de Processos .....	33
Figura 02 – PDCA .....	37
Figura 03 – Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) ou Método de Análise de melhorias de Processos (MAMP) .....	38
Figura 04 – QC Story .....	39
Figura 05 – Ciclo de Oportunidades de Harrington .....	40
Figura 06 – Modelo de Cadeia Fornecedor/Cliente .....	42
Figura 07 – Sete Fases da Ferramenta AAA .....	43
Figura 08 – Método para Análise Crítica e Controle do Processo Produtivo... ..	44
Figura 09 – Etapa 1: Determinação de Falhas Externas .....	46
Figura 10 – Gráfico de Pareto .....	46
Figura 11 – Etapa 2: Determinação de Falhas internas .....	47
Figura 12 – Etapa 3: Afinidade entre Falhas Externas e Falhas Internas .....	47
Figura 13 – Etapa 4: Determinação das Etapas do Processo .....	48
Figura 14 – Etapa 5: Correlação das Falhas com os Processo.....	49
Figura 15 – Etapa 6: Melhoria dos Controles do Processos .....	50
Figura 16 – Metodologia 6 sigma .....	52
Figura 17 – Fatores de sucesso para implementação do seis sigma .....	56
Figura 18 – Processo seis sigma centrado .....	62
Figura 19 – Processo seis sigma a longo prazo.....	62
Figura 20 – Capacidade a curto e longo prazo.....	64
Figura 21 – Modelo genérico de um processo ou sistema .....	77
Figura 22 – Projeto de blocos incompletos balanceados para 4 variáveis em 6 .....	80
Figura 23 – Carta de controle.....	88
Figura 24 – Processo seis sigma .....	95
Figura 25 – Processo seis sigma a longo prazo.....	95
Figura 26 – Projeto de blocos incompletos balanceados .....	101
Figura 27 – Carta de controle.....	104
Figura 28 – Fluxograma do processo .....	107
Figura 29 – Brainstorming para verificação de causas especiais.....	108

## LISTA DE TABELAS

Quadro 01 – Conceito de TQM: elementos e ferramentas .....	33
Tabela 01 – História da Implementação Seis sigma .....	54
Tabela 02 – Treinamento recomendado para blackbelt .....	55
Tabela 03 – DPMO de curto em longo prazo .....	63
Tabela 04 – Conversão de ppm para 6 sigma.....	65
Tabela 05 – Planejamento de experimentos de 3 níveis .....	80
Tabela 06 – Planejamento de experimentos de 3 níveis .....	83
Tabela 07 – Cronograma do projeto seis sigma.....	105
Tabela 08 – Conversão de ppm para nível seis sigma.....	109
Tabela 09 – Matriz de Causa e Efeito .....	110
Tabela 10 – FMEA do processo para análise Multi-vari .....	111
Tabela 11 – Dados do processo para análise de Multi-vari.....	111
Tabela 12 – Matriz Box-Behnken 3 níveis e 3 variáveis codificadas .....	112

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
CTQ – Característica Típica da Qualidade  
CEP – Controle Estatístico do Processo  
CPK – Índice de Capacidade do Processo  
CP – Índice de capacidade Potencial do Processo  
DFSS – Design for Six Sigma  
DMAIC – Define, Measure, Analyze, Improve, Control  
DPMO – Defeitos por milhão de Oportunidades  
DPO – Defeitos por Unidade de Oportunidades  
DPU – Defeitos por Unidade  
DOE – Delineamento de Experimentos  
FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial  
MASP – Método de Análise e Solução de Problemas  
MAMP – Modelo de Análise de Melhoria do Processo  
PBQP – Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade  
PDCA – Planejamento, Execução, Verificação e Ação Corretiva  
PSS – Processo Seis Sigma  
PPRA – Programa de Preservação de Riscos Ambientais  
PQSS – Programa de Qualidade Seis Sigma  
SGA – Sistema de Gestão Ambiental  
SMD – Sistema de Medida de Desempenho  
TQC – Controle de Qualidade Total  
TQM – Gerenciamento Pela Qualidade  
CTQ's – Características Típicas da Qualidade  
QFD – Desdobramentos da Função Qualidade  
VOC – Vozes dos Clientes

## **RESUMO**

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa, é desenvolver uma proposta de modelo para o projeto de processo. Para a realização da pesquisa os meios utilizados foram a pesquisa bibliográfica e a pesquisa de campo. Com relação as finalidades, este trabalho foi caracterizado como descritivo e explicativo. Em relação aos dados, estes foram coletados utilizando-se de entrevistas não estruturadas. As informações obtidas de diversas abordagens diferentes sobre o projeto do processo gerou uma baseada no seis sigma. As normas ambientais servem para garantir que os serviços ou processos produtivos de uma organização sejam compatíveis com o meio ambiente, ou seja, sustentáveis. Isto se dá através da implantação de procedimentos ou instruções de trabalho visando o acompanhamento e controle. Deve haver monitoramento da matéria-prima, insumos, efluentes e resíduos gerados no processo produtivo.

Palavras-chave: modelo, projeto do processo, seis sigma, meio ambiente

## **ABSTRACT**

The main purpose of this research is to develop a model proposal for the project of processes. For the accomplishment of the research, bibliographical and field researches were done. In relation to its goal, this work is characterized as descriptive and explanatory. With regard to the data, these were collected using non-structured interviews. The information obtained from different approaches about the project of processes generated a specific one based on six sigma. The environmental rules serve to guarantee that the services or productive processes of an organization are compatible with the environment, in other words, sustainable. This can be done through the implementation of procedures or instructions of work, aiming at accompaniment and control. Monitoring of raw material, input, and residue produced in the process is desirable.

Key-words: model, project of process, six sigma, environmental.

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 GENERALIDADES**

Devido a crescente preocupação com o meio ambiente, nas duas últimas décadas, houve um aumento nos estudos para viabilizar um melhor aproveitamento dos recursos naturais para se produzir industrialmente com menor impacto ao meio ambiente. Percebeu-se que, o futuro da humanidade, depende do controle de todos os meios industriais e naturais, para que a produção ocorra com menos desperdício e com menor dano ao meio ambiente.

O objetivo básico ao se posicionar neste sentido, vem da necessidade de se produzir bens que atendam tanto esta geração quanto às gerações futuras, levando em consideração o conceito de desenvolvimento sustentável, ou seja, desenvolver processos que procurem atender este princípio, visto que é uma das maneiras que a indústria tem de se sobressair frente à concorrência.

A consideração ambiental pode prejudicar o andamento do trabalho do profissional, já que provoca limitações no desenvolvimento de novos projetos. Portanto, nesta dissertação, propõe-se o desenvolvimento de um modelo que auxilie na elaboração de projetos do processo.

Neste capítulo, apresentam-se os objetivos e limitações, as hipóteses, a justificativa e a estrutura deste trabalho.

## **1.2 OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÕES**

O objetivo principal da realização deste trabalho de pesquisa, é desenvolver um modelo que auxilie no projeto de processos,

Para tanto, serão levados em consideração, no desenvolvimento do mesmo, os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer formas de orientar e definir o método que possa auxiliar no desenvolvimento de novos projetos de processo;

- Estabelecer correlação entre o modelo e outros conhecidos no contexto atual.

Desta forma, pretende-se focar os seguintes aspectos:

- Disponibilizar um documento que contenha um modelo de auxílio ao projeto do processo;
- Promover uma abrangência maior do desenvolvimento sustentável no âmbito industrial.

A concretização destes objetivos e as contribuições se encontram condicionadas a delimitação do escopo desta pesquisa.

### **1.3 DELIMITAÇÃO DO ESCOPO DA PESQUISA**

Devido a complexidade do tema e do desenvolvimento de uma proposta de modelo para projeto, estabeleceu-se os seguintes limites para esta pesquisa:

- Análise dos modelos existentes;
- Busca de alternativas para desenvolver um projeto que se volte para a melhoria dos processos adotados;
- Descrever a estrutura do modelo, relacionando os pontos a serem seguidos.

### **1.4 PREMISSE E HIPÓTESE**

Levando-se em consideração os objetivos e o tema deste trabalho, apresenta-se, neste item, premissa e hipótese, que são as bases para o desenvolvimento da dissertação.

#### **1.4.1 Premissa**

Qualquer produto causa impacto ambiental durante o seu ciclo de vida. Considera-se o impacto ambiental como os efeitos maléficos causados ao meio ambiente e que possam prejudica-lo. A existência de qualquer produto já representa o uso de recursos naturais, uso de energia e tudo o que se refira a fabricação, desde a concepção até o descarte.

### 1.4.2 Hipótese

A redução do impacto ambiental através da elaboração de um modelo que auxilie os projetistas a obter um produto que vise a melhoria da questão ambiental, visto que a existência de qualquer produto já representa um impacto ambiental, porém, é possível reduzi-lo, atendendo não só a política empresarial como também a legislação ambiental vigente.

## 1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho enquadra-se na área de desenvolvimento de metodologia de projetos e se encontra inserido nas pesquisas realizadas na UFSC e, desta forma, foi realizado de acordo com as orientações descritas a seguir.

### 1. Estudo do problema:

- Análise de modelos e ferramentas já existentes, visando observar o que já existe sobre o assunto;
- Análise do que está sendo feito no desenvolvimento de novos processos.

### 2. Desenvolvimento de um modelo de auxílio ao projeto do processo:

- Estabelecimento de diretrizes gerais para o desenvolvimento do modelo;
- Estabelecimento das fases e etapas, indicando os objetivos e as ferramentas relacionadas;
- Estabelecimento do modelo, detalhando cada fase e etapa;
- Estabelecimento dos detalhes na utilização de ferramentas de apoio no auxílio ao trabalho desenvolvido pelos projetistas.

### 3. Estudo de Caso:

- Aplicar o modelo proposto;
- Estabelecer os resultados e as dificuldades encontradas na aplicação do modelo.



## 1.6 JUSTIFICATIVA

Devido a necessidade de atender a legislação vigente e também consumidores mais exigentes, que procuram produtos ecologicamente corretos, para que futuras gerações possam usufruir do meio ambiente, há a necessidade de se analisar os modelos e ferramentas existentes e criar um modelo que resolva adequadamente o problema da pesquisa.

Quando surgiu a visão do descaso que ocorria ao meio ambiente, devido a empresas notoriamente poluentes, legislação pouco rígida que atendia apenas ecossistemas locais que não interligavam a outros, houve a necessidade de se criar ferramentas mais rígidas de controle, não só ao final, mas dentro do processo produtivo.

Ao se analisar a literatura, KINLAW (1997),

*“...apresenta um conjunto destas pressões, o que leva as empresas a adotarem uma postura diferenciada diante da questão ecológica. As novas legislações, os consumidores, os concorrentes são os que provocam nas empresas esta mudança, que com o passar do tempo vão se tornar uma obrigação em todas as organizações. Uma das principais normas que tratam desta ambiental a nível internacional é a série ISO 14000.”*

Ao se analisar o exposto, observa-se que existe um conjunto de pressões que as empresas a estabelecer diferenciais ambientais em seus produtos e processos. Diante disso, é importante que no desenvolvimento de produtos, a questão ambiental esteja inserida, e se leve em consideração as pressões já mencionadas. O desenvolvimento de um produto envolve processo e produção, sendo que o primeiro envolve menor custo e abrange mais os efeitos de decisão.

Diante disso, a fase de projeto é uma excelente oportunidade para inserir melhorias no desempenho ambiental do produto, sem descuidar da qualidade. Custos são menores nesta fase, e há uma maior liberdade na resolução de problemas.

## 1.7 ESTRUTURA DO TEXTO

O texto se encontra estruturado, da seguinte forma:

### Capítulo I – Introdução

Este capítulo tem por finalidade, apresentar o tema da pesquisa, os objetivos; premissa e hipótese para a elaboração do respectivo trabalho. É apresentada, também, a metodologia de trabalho e a estrutura do texto da dissertação.

### Capítulo II – Estado da Arte

Neste capítulo, apresentam-se modelos e ferramentas já existentes, através do conhecimento dos mesmos e sua utilização na indústria, procurando amenizar os problemas que podem causar e suas contribuições à sociedade como um todo. Abranger-se-á, também, o aspecto da globalização e o desenvolvimento regional, considerados de grande impacto, na geração de novos produtos para o mercado.

### Capítulo III – Modelo de Auxílio ao Projeto de Processo

Neste capítulo, apresenta-se o modelo, destacando as ferramentas e estruturas necessárias ao desenvolvimento do mesmo.

### Capítulo IV – Aplicação do Modelo Proposto

Neste capítulo, apresenta-se a descrição da aplicação prática do modelo descrito no capítulo anterior, analisando suas conseqüências

### Capítulo V – Conclusões e Recomendações

Neste capítulo, apresentam-se as conclusões sobre o modelo de projeto desenvolvido, procurando verificar se os objetivos propostos inicialmente foram atendidos com o desenvolvimento de um modelo de auxílio ao projeto de processo, discutindo os principais aspectos a ele relacionados.

## **2. ESTADO DA ARTE**

Este capítulo tem como objetivo apresentar o estado da arte relativo ao desenvolvimento de um modelo de auxílio ao projeto do processo. Inicialmente é feito um estudo de modelos e ferramentas já existentes, que abordam esta questão. Abrange-se-á também o aspecto da globalização e desenvolvimento regional considerado de grande impacto para o desenvolvimento de novos processos.

### **2.1 ANÁLISE DA QUESTÃO AMBIENTAL: IMPORTÂNCIA DA PRESERVAÇÃO**

#### **2.1.1 O Homem e o Ambiente**

Reconhecer que a preocupação com a questão ambiental não é restrita a um segmento da indústria ou localidades específicas, mas é global, abrangente e veio para ficar, é o primeiro passo para encarar o desafio da busca de sobrevivência e adequação aos novos paradigmas. E o novo paradigma é o desenvolvimento sustentável.

As advertências da comunidade científica internacional, em especial da Organização das Nações Unidas, repousam, dentre outros fatores sobre os elevados níveis de poluição no ar, nas águas, na terra e nos seres vivos em geral e sobre a destruição e o esgotamento dos recursos naturais.

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, afetando o ambiente, as condições estéticas e a qualidade dos recursos ambientais devem ser considerados como impacto ambiental.

A realidade que se vivencia enfatiza a necessidade de uma produção mais limpa e, para tanto, as normas técnicas de sistemas de gestão ambiental compartilham dos mesmos princípios dos sistemas de gestão da qualidade. Isto se deve porque as condições ambientais se tornam inadequadas devido à poluição causada pelas atividades produtivas, pois o meio ambiente é modificado, alterando a relação dele com o homem. Assim, a sociedade civil, através de suas organizações,

exerce pressão sobre a indústria para que ela diminua os efeitos ambientais de sua atividade, tendo como objetivo homogeneizar conceitos, ordenar atividades, criar padrões e procedimentos que sejam reconhecidos por aqueles que estejam envolvidos com alguma atividade produtiva que gere impactos ambientais.

De maneira geral, todas as empresas bem sucedidas vêm exibindo alguns pontos comuns em seus programas de qualidade: envolvem alta prioridade na estratégia das empresas, apresentam envolvimento amplo, tem maior preocupação com as crescentes exigências dos consumidores, possuem modelos e sistemas da qualidade mais integrados e padronizados, utilizam auditorias da qualidade e indicadores gerenciais, envolvem a alta administração e gerência e têm relacionamento melhor com os fornecedores. A Qualidade como atualmente é conceituada, tornou-se extremamente importante, pois ela ajudou muitos países e suas empresas a se desenvolverem e a produzirem produtos de alta qualidade com baixo custo, exportados para o mundo inteiro.

O Sistema de Gestão Ambiental – SGA é um dos mais importantes meios para se conseguir uma produção mais limpa, visto que sua implantação constitui estratégia para que o empresário, em processo contínuo, identifique oportunidades de melhoria para a redução de impactos ambientais gerados dentro da empresa. Esta postura pró-ativa em relação às questões ambientais é obtida com a adoção de Técnicas de Produção mais Limpa, que são usadas como ferramenta fundamental para alcançar a melhoria contínua do sistema.

De acordo com PEREIRA (1995, p. 45), verifica-se que, As normas ambientais servem para garantir que os serviços ou processos produtivos de uma organização sejam compatíveis com o meio ambiente, ou seja, sustentáveis. Isto se dá através da implantação de procedimentos ou instruções de trabalho visando o acompanhamento e controle. Deve haver monitoramento da matéria-prima, insumos, efluentes e resíduos gerados no processo produtivo. Podemos definir um sistema de gestão ambiental como um conjunto de procedimentos para gerir ou administrar uma empresa, de forma a obter o melhor relacionamento com o meio ambiente.

O desenvolvimento destas normas responde às exigências da comunidade internacional de um desenvolvimento compatível com as condições físicas e biológicas do planeta e com a sobrevivência das gerações humanas.

É mais barato e eficiente prevenir danos ambientais do que tentar controlá-los ou "remediá-los". A prevenção requer que se parta do início do processo

de produção para evitar a fonte do problema, em vez de tentar controlar os danos em seu final. A prevenção da poluição substitui seu controle. Por exemplo: a prevenção requer alterações de processos e produtos para impedir a geração de resíduos incineráveis, em vez de se desenvolver incineradores sofisticados. Analogamente, práticas de uso eficiente de energia, na demanda e na oferta, substituem a atual ênfase exagerada no desenvolvimento de novas fontes de energia a partir de combustíveis fósseis.

Segundo CAJAZEIRA (1998, p. 3-5):

*O desenvolvimento de Sistema de Gerenciamento Ambiental, de maneira normatizada, deve-se sobretudo a uma resposta com relação às crescentes dúvidas sobre a proteção do meio ambiente. Esta preocupação global em relação às questões ecológicas foram transferidas para as indústrias sob as mais diversas formas de pressão: financeiras (bancos e outras instituições financeiras evitam investimentos em negócios com perfil ambiental conturbado), seguros (diversas seguradoras só aceitam apólices contra danos ambientais em negócios de comprovada competência em gestão do ambiente), Legislação (crescente aumento das restrições aos efluentes industriais pelas agências ambientais), todavia, a pressão dos consumidores notadamente em países mais desenvolvidos, reflete uma autêntica paranóia por produtos ambientalmente corretos e de certa forma estabeleceu uma suposta 'consciência verde' ao redor do mundo se bem que, muitas vezes, esta consciência é galgada em fatos irreais ou incorretos.*

Um aspecto de grande importância dentro da gestão ambiental é a existência de um projeto que se volte a monitoração ambiental, o qual deverá possibilitar informações sobre como agir rapidamente para eliminar ou reduzir os problemas causados por efeitos ambientais adversos. É através deste monitoramento que deve-se manter e melhorar a eficiência produtiva com um mínimo de impacto ambiental pode ser feito de várias e contínuas formas de medidas sobre qualidade do ar e da água, testes biológicos e efeitos sobre os trabalhadores e comunidade.

Com o monitoramento, a área de meio ambiente em conjunto com o pessoal de produção deve fazer uma análise da situação atual, evidenciando as tecnologias e os processos existentes na manufatura e sua situação em relação aos padrões exigidos pela legislação. Com base nos dados obtidos, deve propor alternativas ambientalmente mais favoráveis que possam conduzir uma melhoria do

sistema atual no curto prazo, buscando sempre que possível recuperar, reciclar e reprocessar materiais. Desta forma, a organização irá manter-se atualizada sobre as inovações relevantes que possam melhorar o seu desempenho ambiental e social e reavaliar seu processo produtivo. Nesse sentido, a associação entre produção-qualidade-meio ambiente-segurança é fundamental para a sobrevivência da empresa no longo prazo, pois no sentido amplo a qualidade total da empresa só pode ser concebida num contexto de qualidade ambiental. Na visão de DONAIRE (1995, p. 96), observa-se:

*“Deve-se efetuar uma auditoria interna para avaliar a produção e a deposição dos resíduos, bem como averiguar as fontes de emissões e seu respectivo controle. importante manter-se informado sobre o que está sendo feito por outras empresas e analisar a possibilidade de formar parcerias e associações com empresas para lidar de forma conjunta com esse problema”.*

Deve-se investigar alternativas para reduzir ou eliminar resíduos e emissões, incentivando a participação dos funcionários e a ajuda dos órgãos governamentais especializados na implementação de uma estratégia de ação e na formação de uma infra-estrutura básica para apoiá-la. Assim sendo, se as condições existentes em relação à iluminação, ventilação, barulho, poeira, calor, vibração, temperatura, odores, substâncias tóxicas não estiverem adequadamente solucionadas fica difícil convencer os trabalhadores de que as questões ambientais são importantes dentro da organização.

Analogamente, se as condições de segurança, de salários, de promoção, treinamento, alimentação, atendimento médico são precárias, é praticamente impossível engajar os funcionários com a causa ambiental. A ligação dos aspectos físicos com os aspectos psicossociais associados à qualidade ambiental.

Observa-se desta forma que, em alguns ramos industriais de grande risco, há a necessidade de se estabelecer um plano para emergências, em face das conseqüências que um acidente pode acarretar nos trabalhadores e na comunidade onde as empresas se localizam, sendo que estes planos visam não só prevenir os acidentes, mas também mitigar os danos causados por qualquer tipo de acidente que venha ocorrer. E, portanto, devem ser estabelecidas normas e cronogramas para se efetuar a manutenção preventiva e a auditoria sistemática das atividades sujeitas a acidentes de grande risco.

É importante que uma organização que esteja Interessada em desenvolver a gestão ambiental, proceda uma análise crítica de sua situação atual, idealizando qual a política a ser adotada em relação às questões ambientais e, desta forma, estabelecendo as estratégias apropriadas para atingir os objetivos predeterminados.

Segundo DONAIRE (1995, p. 106);

*“No estabelecimento da estratégia a área de planejamento juntamente com área do meio ambiente, deverá estabelecer quais os passos que deverão ser dados em relação as mudanças e existentes no ambiente imediato que exigirão a adaptação da organização daquelas relativas as mudanças no meio ambiente futuro que demandarão uma postura estratégica adequada a situação presente”.*

Atualmente, a administração do ambiente é fragmentada, o que permite que os poluentes sejam transferidos entre o ar, a água e o solo. As reduções nas emissões de poluentes centradas nos processos de produção fazem com que o risco seja transferido para o produto. Esse risco pode ser minimizado tratando-se corretamente todos os fluxos de materiais, água e energia, o ciclo de vida útil completo do produto e o impacto econômico da passagem para a Produção Limpa.

O mundo tem sido um lugar de disputas. A humanidade lutando em busca do poder e do lucro tem subjugado os mais fracos e também o meio ambiente. A palavra “domínio”, nesse contexto, é sinônimo de dominação, de prepotência e de superioridade. Assim, quando se fala que o ser humano tem sido dominador, diz-se que ele tem pisado sobre as pessoas que se colocam em seu caminho e que tem exterminado o mundo ao seu redor. As florestas, os rios, os animais, tudo tem se ressentido dessa dominação exercida sem critérios, na busca de dinheiro, de status e de poder.

## **2.2 GLOBALIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO REGIONAL**

A globalização constitui uma chave essencial para explicar os fenômenos e processos mundiais característicos deste final de século. O sistema econômico de mercado tem hoje, direta ou indiretamente, extensão planetária, o que se tornou possível com o desaparecimento da alternativa do socialismo real e com o final da

guerra fria. A transição contemporânea é total porque abrange, ao mesmo tempo, não apenas o domínio econômico, mas também muitos outros, como o estratégico, o político e o tecnológico. A alteração do sistema de poder internacional criou um espaço político para que o mercado mundial e o sistema produtivo capitalista se transforme.

Globalização é o conjunto de transformações na ordem política e econômica mundial que vem acontecendo nas últimas décadas. O ponto central da mudança é a integração dos mercados numa “aldeia-global”, explorada pelas grandes corporações internacionais. Os Estados abandonam gradativamente as barreiras tarifárias para proteger sua produção da concorrência dos produtos estrangeiros e abrem-se ao comércio e ao capital internacional. Esse processo tem sido acompanhado de uma intensa revolução nas tecnologias de informação - telefones, computadores e televisão.

Verifica-se a existência de uniformização das fontes de informação devido ao alcance mundial e à crescente popularização dos canais de televisão por assinatura e da Internet. Isso faz com que os desdobramentos da globalização ultrapassem os limites da economia e comecem a provocar uma certa homogeneização cultural entre os países.

Na visão de PALADINI (1997, p. 51),

*“A globalização é marcada pela expansão mundial das grandes corporações internacionais. A cadeia de fast-food McDonald’s, por exemplo, possui 18 mil restaurantes em 91 países. Essas corporações exercem um papel decisivo na economia mundial. Segundo pesquisa do Núcleo de Estudos Estratégicos da Universidade de São Paulo, em 1994 as maiores empresas do mundo (Mitsubishi, Mitsui, Sumitomo, General Motors, Marubeni, Ford, Exxon, Nissho e Shell) obtêm um faturamento de 1,4 trilhão de dólares. Esse valor equivale à soma dos PIBs do Brasil, México, Argentina, Chile, Colômbia, Peru, Uruguai, Venezuela e Nova Zelândia”.*

Outro ponto importante desse processo refere-se as mudanças significativas no modo de produção das mercadorias. Auxiliadas pelas facilidades na comunicação e nos transportes, as transnacionais instalam suas fábricas em qualquer lugar do mundo onde existam as melhores vantagens fiscais, mão-de-obra e matérias-primas baratas. Essa tendência leva a uma transferência de empregos dos países ricos – que possuem altos salários e inúmeros benefícios - para as



nações industriais emergentes, como os Tigres Asiáticos. O resultado desse processo é que, atualmente, grande parte dos produtos não tem mais uma nacionalidade definida. Um automóvel de marca norte-americana pode conter peças fabricadas no Japão, ter sido projetado na Alemanha, montado no Brasil e vendido no Canadá.

A crescente concorrência internacional tem obrigado as empresas a diminuir seus custos, com o objetivo de obter preços menores e qualidade alta para os seus produtos. Nessa reestruturação estão sendo eliminados vários pontos de trabalho, tendência que é chamada de desemprego estrutural. Uma das causas desse desemprego é a automatização de vários setores, em substituição à mão-de-obra humana. Caixas automáticos tomam o lugar dos caixas de bancos, fábricas robotizadas dispensam operários, escritórios informatizados prescindem datilógrafos e contadores. Nos países ricos, o desemprego também é causado pelo deslocamento de fábricas para os países com custo de produção mais baixos.

Com relação ao aspecto que envolve o desenvolvimento local de uma determinada região, FRANCO (2000, p. 19), cita que,

*“O desenvolvimento local é um modo de promover o desenvolvimento que leva em conta o papel de todos esses fatores para tornar dinâmicas potencialidades que podem ser identificadas quando olhamos para uma unidade sócio-territorial delimitada”.*

O desenvolvimento sustentável deve ser operacionalizado de forma a permitir o cálculo permanente dos desgastes e impactos sobre o capital natural, cada vez mais ameaçado e escasso no mundo inteiro. Isto significa que estamos no limiar de um novo conceito de PIB, incluindo perdas e danos antes totalmente imperceptíveis aos economistas, aos cidadãos e aos políticos, mas que se manifestam concretamente quando projetamos o futuro e os exorbitantes custos de reposição dos recursos naturais desperdiçados ou definitivamente perdidos.

O conceito de sustentabilidade não se limita ao meio ambiente. No Brasil, mais do que em outro país, aplica-se de forma mais abstrata à dimensão econômica, social, científico-tecnológica e organizacional. Aplica-se, também, à democracia, esta planta frágil que se alimenta de regras que vigorem em longo prazo em favor da maioria, e que não podem ser apropriadas por cartórios e corporações poderosas,

sacrificando o futuro de muitos em benefício dos interesses presentes de alguns privilegiados.

A democracia sustentável exige, portanto, a consolidação de uma sociedade mais ativa, dotada de formas de autogestão e de associativismo que permitam a implantação de medidas simples e baratas que sirvam para atender a maioria dos excluídos. Reduzir desigualdades, criando uma democracia de cidadãos e de iguais, eis o caminho da sustentabilidade social e política, ambas entrelaçadas em um processo que se alimenta. Para BECKER (1998, p. 43),

*“...a necessidade de se pensar o desenvolvimento local se deve ao fato de que cada vez mais os locais são levados a concorrer entre si na geração de condições ‘favoráveis’ e atrativas para localizar em seu território investimentos produtivos. Em conseqüência, é preciso articular e mobilizar os agentes locais do desenvolvimento, tendo em vista sua participação crescente e direta na construção de uma inserção diferenciada e alternativa no processo global de desenvolvimento contemporâneo, tendo, sempre presente, que já não basta pensar global e o agir localmente. É preciso ir além, pensar local e agir globalmente).”*

O grande pilar da sustentabilidade é, portanto, a ética industrial e profissional que, desde o início dos tempos, tem sido o freio à ambição, ao individualismo extremado e a todas as formas de convivência predatória que corroem o espírito da sociedade, a cumplicidade entre as gerações, a paz e a harmonia entre os homens e mulheres de todas as nações. Para um mundo global, uma ética global. É o que nos falta.

Para se garantir a sustentabilidade é necessário satisfazer as necessidades de oportunizar um maior desenvolvimento tecnológico, sendo que para se ter um desenvolvimento sustentável viável, é preciso que sejam atendidas todas as necessidades básicas do ser humano e também proporcionar oportunidades de concretizar suas aspirações de uma vida melhor.

Em muitos países não, ainda não se atende as necessidades humanas e nem mesmo se busca a harmonização da evolução demográfica com o potencial produtivo do ecossistema.

É preciso primeiramente que o ser humano tome consciência de sua importância dentro da sociedade, para então, poder agir e atuar de forma conscienciosa, buscando suprir as falhas existentes e buscando a aquisição de uma

melhor qualidade de vida. Não é impossível, mas é difícil devido ao próprio homem não se preocupar com seus semelhantes e com o ecossistema.

Temos a consciência de que cada país não pode jogar seu destino em isolamento, mas em conjunto com sua região e num quadro global. Ao mesmo tempo em que forjamos novas parcerias estratégicas e abrimos horizontes econômicos, buscamos intensificar fortemente a integração regional e preservar e - apesar de todas as vicissitudes - atualizar a aliança política entre as várias regiões em desenvolvimento do mundo.

Embora a globalização financeira restrinja a autonomia de política dos estados nacionais, estes retêm uma margem considerável para influenciar a economia doméstica através das suas escolhas de política. Isto nos mostra que a opção-chave da economia brasileira refere-se ao maior controle sobre o movimento de capitais.

Desta forma, o progresso técnico mudou o funcionamento de vários mercados, provocou a difusão de novas rotinas produtivas e possibilitou modalidades inéditas de associações entre empresas e o governo tem sido forçado a abandonar gradualmente as formas clássicas de protecionismo, buscando novos mecanismos de coordenação internacional, renovando o estilo de gestão dos recursos públicos.

Olhando mais adiante, na medida em que se alcança, a duras penas e com determinação, a estabilidade econômica, a temática da adoção e implementação de estratégias mais explícitas de desenvolvimento, em suas facetas interna e externa, o homem estará chegando, naturalmente, ao topo da agenda política. Segundo Paladini (1997, p. 57),

*"A humanidade tem que aprender de alguma forma a aliviar a pobreza de um número enorme e crescente de pessoas sem destruir o ambiente natural do qual depende toda a vida humana. Por isso, exige que tecnologias e conhecimentos técnicos ambientalmente saudáveis sejam desenvolvidos e compartilhados. A tecnologia desempenhará, sem dúvida, um papel de grande importância para a mudança do clima. Enfatiza também a necessidade de educar as pessoas sobre a mudança do clima".*

Verifica-se que as coisas estão começando a acontecer. Os países desenvolvidos estão fazendo planos nacionais com o objetivo de voltar suas emissões de gases de efeito estufa para níveis mais baixos, invertendo, dessa

forma, a tendência do passado de emissões sempre crescente. Os países que ratificaram o tratado estão começando a coletar dados sobre suas emissões e sobre o clima atual. Cada vez mais as pessoas e os governos falam e pensam sobre a mudança do clima.

A atmosfera é um recurso comum a todos, parte do "*patrimônio da humanidade*". O tratado tenta assegurar que todos os sacrifícios feitos para a proteção desse recurso sejam compartilhados de forma justa entre os países - de acordo com suas "*responsabilidades comuns, mas diferenciadas e respectivas capacidades e condições sociais e econômicas*". Isso significa, assim esperam os países participantes, que o que tiver de ser feito conte com a participação de um número suficiente de países para que os benefícios conseguidos compensem os sacrifícios. É mais fácil sacrificar-se por uma causa comum quando se está certo de que todos estão colaborando.

Depara-se, também, com um outro objetivo econômico, o qual relaciona-se com a superação de uma contradição, ou seja, preservação das bases ambientais, pois o homem produz tudo com base na natureza e isto leva a degradação e diminuição das reservas, tornando-se necessário haver uma preocupação com respeito a este aspecto e isto só acontecerá através de um desenvolvimento sustentável onde haja controles diretos e auto-regulação.

Globalmente, não mais nos podemos limitar às simplificações anteriores. Vivemos uma transição histórica, uma nova problemática política e econômica. Transforma-se o padrão de distribuição mundial da riqueza. O hiato secular entre países ricos e pobres começa afinal a diminuir para bom número de países e regiões - que representam nada menos que a metade da população mundial -, mas significativamente não para todos os países e todas as regiões.

Em termos da competição internacional entre áreas e entre países, esta é uma questão central a ser encaminhada no longo prazo e dentro do abrangente quadro da globalização. Mas é uma questão que recoloca em termos inescapáveis a temática da reorganização tanto da economia nacional e regional, quando da cooperação internacional para o desenvolvimento.

Mudou o mundo. Nossa região também. O próprio Brasil tem suas feições renovadas. A realidade de hoje é distinta da que vivíamos há poucos anos. Nosso desafio é evitar que nos atrasemos, como país e como sociedade, no entendimento do que vai pelo mundo.

### 2.2.1 Desenvolvimento Sustentável e Responsabilidade Social Empresarial

A preocupação geral da humanidade pela preservação do meio ambiente é uma questão de sobrevivência, de garantir sobrevivência às gerações presentes e de possibilitar vida às gerações futuras. Segundo SILVA (1998, p. 48) cita que,

*a série ameaça à vida no planeta desencadeou uma série de ações, de caráter multidisciplinar, tendentes à preservação do meio ambiente, máxima a partir de 1972, quando da realização da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, donde resultou a Declaração sobre o Meio Ambiente Humano – Declaração de Estocolmo – refletida em vinte e seis princípios que constituíram os postulados da proteção ambiental à época. Mais recentemente realizou-se no Brasil, Rio de Janeiro, a ECO-92, sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, resultando em vinte e um princípios voltados à proteção do meio ambiente.*

Nos dias atuais, onde se verifica uma grande destruição da natureza e a crescente preocupação dos órgãos ambientais com a fauna e flora de nosso país, verifica-se que começa a ocorrer uma maior conscientização da população, não só nas grandes cidades, mas também em cidades interioranas, onde as escolas passaram a desempenhar um papel de agentes conscientizadores através de trabalho com projetos e o desenvolvimento de várias campanhas que fazem com que os alunos tomem parte ativa no processo de “salvar o nosso planeta”.

Assim, desenvolvimento sustentável é aquele que busca atender as necessidades do presente sem causar comprometimento com a capacidade de as futuras gerações atingirem suas próprias necessidades.

Segundo SILVA (1998, p. 52), desenvolvimento sustentável

*“É um processo de mudança no qual a exploração de recursos, o rumo dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e das transformações institucionais estão em harmonia e aumentam o potencial atual e futuro de se atingir as necessidades e aspirações humanas”.*

A responsabilidade das empresas públicas e privadas com o bem-estar da comunidade é uma delas. Este é o princípio da empresa-cidadã, ou seja, aquela que é comprometida com a qualidade de vida da sociedade e que, através do seu Balanço Social, apresenta os seus investimentos nos mais diversos projetos socioculturais.

Desta forma, as empresas com esta preocupação social poderão mostrar, através de seus anúncios, embalagens de produtos, balanço social e campanhas publicitárias, que investem em educação, saúde, cultura e meio ambiente.

O balanço social favorece a todos os grupos que interagem com a empresa, ou seja, aos dirigentes fornece informações úteis à tomada de decisão no que se refere aos programas sociais. É também utilizado como um instrumento de gestão. É natural que os indicadores do balanço social estimulem a participação voluntária dos empregados na escolha dos programas sociais da empresa, o que acarreta um grau mais elevado de integração nas relações entre dirigentes e funcionários.

O Balanço Social informa aos fornecedores e investidores como a empresa encara suas responsabilidades quanto aos seus recursos humanos, o que é um bom indicador da forma como a empresa é administrada. Para os consumidores dá uma idéia da mentalidade dos dirigentes da companhia, o que pode ser associado à qualidade do produto ou serviço que a empresa oferece. Ao Estado ajuda na formulação das políticas públicas.

### **2.3 A QUALIDADE NA EMPRESA**

Qualidade Total é uma filosofia de gestão empresarial, que hoje se encontra presente no mundo todo. Esta filosofia percorreu um longo caminho na esteira do sucesso do Japão, até se impor como uma opção para viabilizar a administração empresarial de todo o mundo.

FEINGENBAUM (1983)

*“...divide o estudo da Qualidade de acordo com um processo evolutivo que compreende cinco fases. A primeira fase iniciou-se, no final do século passado, com o processo de industrialização, no qual a qualidade era controlada por um operador, e cada empregado conhecia o processo de fabricação e era responsável pela qualidade do produto.”*

A segunda fase corresponde ao período onde a empresa é afastada do mercado e os produtos começam a ser padronizados para uma produção em maior escala. A ênfase na qualidade situa-se nos aspectos técnicos de produtos, garantida

por meio de inspeção do processo. Esta fase inicia-se no século 20 e perdura até a década de 30, onde o operador cede lugar ao capataz do controle da qualidade, ou contramestre, que assumiu a responsabilidade pela qualidade de seu grupo de trabalho. Desta forma, a segunda fase iniciou-se por volta da Primeira Guerra Mundial, quando os processos de fabricação tornaram-se mais complexos, surgindo o “Controle de Qualidade”, que incluía o emprego de instrumentos, aparelhos de medição e métodos cada vez mais sofisticados.

Na terceira fase, o Controle de qualidade era feito pelos inspetores, onde se separava a produção da administração.

A quarta fase da Qualidade iniciou-se com as exigências da produção em massa, impostas pelo desencadeamento da Segunda Guerra Mundial, onde a qualidade passou a ser medida pelo controle estatístico e pelo uso de gráficos ou de cartas de controle, feitos no recebimento do produto ou na inspeção final.

Após a Segunda Guerra Mundial, passou a ser adotado o controle de processos, englobando toda a produção, desde o projeto até o acabamento. Desta forma, conseguir qualidade nos processos de produção, visava principalmente, segurança e eliminação dos defeitos.

A quinta fase refere-se a adoção do “*Controle Total da Qualidade*”, que iniciou com as idéias surgidas a partir da década de 60, mas que encontrou maior aceleração a partir dos anos 80, quando estrutura, tomada de decisão, análise de processos, redução de custos, liderança, motivação e administração estão interligados na procura da satisfação do cliente. É a fase denominada de “dinâmica ofensiva” da qualidade, ou seja, a qualidade é vista como um processo ofensivo de enfrentamento das exigências de mercado, com a produção sem defeitos e sem custos adicionais para o consumidor do produto acabado.

A busca da Qualidade é quase que integralmente orientada para o mercado. Devido a isto, é essencial que a estrutura do planejamento estratégico para a melhoria da Qualidade esteja em conformidade com o ambiente do mercado.

Em meio a este panorama de Qualidade orientada para o mercado, toda empresa, seja ela grande ou pequena, industrial ou de serviços, tem algum motivo ou razão para existir. E as principais forças motrizes são a lucratividade, expansão da faixa de mercado, sobrevivência de longo prazo e serviço prestado à sociedade.

No Brasil, a mais importante característica da Qualidade é a adesão de empresas em todos os setores, o que proporciona um crescente movimento das empresas na busca da Qualidade Total.

A Qualidade Total revolucionou os sistemas produtivos por ser um bom negócio e hoje, passou a ser condição essencial para a permanência das empresas no mercado.

JURAN implantou o sistema *Just-in-Time* que é uma filosofia de gestão empresarial criada no Japão, baseada em dois fundamentos: eliminação total dos estoques e produção puxada pela demanda, que alterou a forma de pensar da administração de estoques.

A filosofia do *Just-in-Time* supõe que a empresa somente deve produzir aquilo que tiver demanda, inexistindo tal ênfase, o gestor de cada unidade da empresa, para melhorar seu desempenho, geralmente procura produzir sempre mais, independente da existência de demanda. Isto acontece em decorrência dos chamados custos fixos e dos custos administrativos.

O JIT é uma filosofia de produção voltada para a diminuição do desperdício no processo total de fabricação, das compras, à distribuição. Se esta filosofia for executada adequadamente, o JIT capacita a empresa a desenvolver a produção como uma arma estratégica.

A eliminação da maior parte dos desperdícios, segundo a filosofia JIT, pode ser alcançada, fazendo-se uso dos três componentes básicos a saber: fluxo, qualidade e envolvimento dos funcionários

Desta forma, *Controle de Qualidade Total* é uma das metas fundamentais em manufatura JIT. Controle de Qualidade Total (TQC) enfatiza a qualidade em todo estágio de manufatura incluindo projeto do produto até a compra de matéria prima.

O controle de qualidade é conduzido em todo estágio nos passos de manufatura, desde a origem até o passo final, ao invés de confiar em um único estágio do processo, ao qual implementa o controle de qualidade no final do produto. Cada indivíduo e função envolvidos no sistema de manufatura deve, por essa razão, aceitar a responsabilidade com o nível de qualidade de seus produtos. Esse conceito apresenta a solução do problema de corrigir os defeitos antes das unidades terem sido completadas.

Na figura a seguir, pode-se observar dados referentes ao TQM, quais sejam:



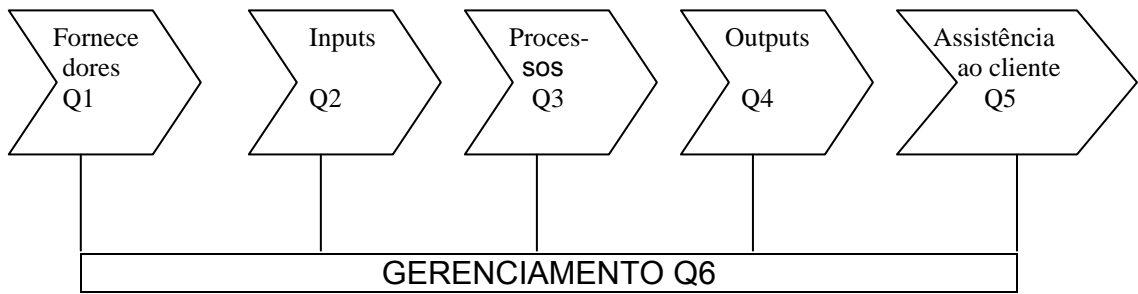


Figura 1 – Empresa como coleção de processos

Como é mostrado acima, TQM é um sistema que se orienta para pessoas tendo por objetivo o incremento contínuo da satisfação do cliente a custos reais decrescentes.

No quadro 01 pode-se observar os elementos básicos do TQM e suas ferramentas.

Quadro 01 – Conceito de TQM: elementos e ferramentas

<p>TQM: Elementos básicos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• visão organizacional;</li> <li>• otimização de barreiras;</li> <li>• comunicação;</li> <li>• avaliação contínua;</li> <li>• melhoria continua;</li> <li>• relacionamentos clientes/fornecedores;</li> <li>• empowerment do trabalhador;</li> <li>• treinamentos;</li> </ul>
<p>TQM: Ferramentas e técnicas</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagramas de causa e efeito;</li> <li>• Coleta de dados e folhas de verificação;</li> <li>• Fluxogramas e estudo de inputs e outputs;</li> <li>• Análise do fluxo de trabalho;</li> <li>• Ciclo de Deming;</li> <li>• Análise do campo de formas;</li> <li>• Fixação de objetivos;</li> <li>• Quadro de programação de decisões;</li> <li>• Quality function deployment;</li> <li>• Auditoria;</li> <li>• Benchmarking;</li> <li>• Análise de falhas e efeitos;</li> <li>• Brainstorming;</li> <li>• Método Delphi;</li> <li>• Círculos de qualidade;</li> </ul>

- Qualidade de serviços;
- Métodos estatísticos e de amostragem;
- Gráficos de controle;
- Projeto de experimentos;
- Operação evolucionária;
- Análise de Pareto;
- Foolproofing;
- Quem – o quê – quando – por quê – como?

Hoje se prioriza um enfoque estratégico para a melhoria da Qualidade, lucratividade e posição competitiva, e isto requer:

- Engajamento total da direção;
- Desenvolvimento de uma Cultura da Qualidade;
- Constância de propósito;
- Consistência na Qualidade superior dos produtos finais;
- Participação efetiva e fortalecimento dos funcionários;
- Parceria com fornecedores e clientes;
- Desenvolvimento e implementação de sistemas da Qualidade eficazes;
- Desenvolvimento de uma estratégia que envolva missão, visão e melhoria contínua.

Qualidade sempre é abrangente, total, no sentido de satisfação de quem produz e do beneficiário da produção. Ela é um atributo inerente à elaboração e ao uso. Desta forma, pode-se observar que a Qualidade é antes de tudo uma filosofia, uma orientação básica, sendo que a estrutura, a tecnologia e a cognição de uma organização devem adaptar-se aos primados dessa filosofia.

Para se atingir bons resultados e alcançar êxito nos empreendimentos realizados, é necessário haver o comprometimento dos recursos humanos que fazem parte da empresa, devido, principalmente, a serem eles os agentes de transformação da empresa.

Para que ocorra essa participação é necessário que haja motivação e preparo dos empregados, o qual ocorrerá através de um treinamento adequado e uma mudança de comportamento em todos os níveis.

Empresa com Qualidade Total deve ter sua estrutura ajustada a partir das necessidades dos clientes e suas preferências. Quando não existe contato direto da empresa com o cliente, a parceria deve ser mantida através dos canais de distribuição e/ou assistência.

### 2.3.1 Normas ISO e a Qualidade

De maneira geral, todas as empresas bem sucedidas vêm exibindo alguns pontos comuns em seus programas de qualidade: envolvem alta prioridade na estratégia das empresas, apresentam envolvimento amplo, tem maior preocupação com as crescentes exigências dos consumidores, possuem modelos e sistemas da qualidade mais integrados e padronizados, utilizam auditorias da qualidade e indicadores gerenciais, envolvem a alta administração e gerência e têm relacionamento melhor com os fornecedores.

A Qualidade como atualmente é conceituada, tornou-se extremamente importante, pois ela ajudou muitos países e suas empresas a se desenvolverem e a produzirem produtos de alta qualidade com baixo custo, exportados para o mundo inteiro.

No Brasil, algumas empresas aplicam os princípios da qualidade a um bom tempo. No entanto, somente a partir de 1990 é que o governo brasileiro se conscientizou da importância do tema, e criou o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade - PBQP, gerando uma motivação em todo o país para a aplicação dos princípios da qualidade, com a finalidade de melhorar a qualidade dos produtos e serviços aqui produzidos, de forma a competir e até superar em qualidade os importados.

ISO é a sigla de uma organização internacional, não governamental, que elabora normas, fundada em 23 de fevereiro de 1947, com sede em Genebra, na Suíça. Fazem parte da ISO entidades de normalização de 91 países, representando mais de 95% da produção industrial do mundo.

O Brasil participa da ISO através da ABNT, que é uma sociedade privada, sem fins lucrativos, tendo como associados pessoas físicas e jurídicas.

A ISO 9000 define a política da qualidade como propósito global da qualidade e direcionamento de uma organização no que se refere à qualidade, formalmente expressa pela alta administração. A política deve ser consistente com outras políticas da companhia, embora é possível afirmar que não há razão para uma política da qualidade essencial ao controle do gerenciamento.

A política por si só não é suficiente, deve haver objetivos por meio dos quais a política possa ser expressa, os quais podem ser: conformidade às

especificações estabelecidas, adequação ao uso, segurança, confiabilidade e assim por diante.

*“Implantações consistentes da ISO 9000 estimulam a aplicação adequada da normalização sistêmica, promovendo a criação de padrões técnicos e de execução, o conseqüente registro de know-how da empresa e o estabelecimento de agentes promotores de aculturação técnico e administrativo. Estes são alguns dos benefícios disponíveis principalmente para empresas que, além da certificação, buscam resultados auto-sustentáveis. (PALADINI, 1995, p.63).*

Num mercado de livre iniciativa e de concorrência acirrada, é necessário que as empresas estejam certificadas nacional ou internacionalmente. É fundamental que os sistemas da qualidade implantados possam promover resultados amplos e com a urgência que cada situação requeira.

A ISO 9000 é hoje o foco prioritário nas empresas, pois a partir de uma certificação ISO, a busca de excelência deve ser de ações inovadoras e que superem todos os paradigmas organizacionais da empresa como um todo.

Tomando por base os aspectos que voltam para a promoção do desenvolvimento industrial dentro de uma consciência ambiental, a seguir, busca-se abordar os modelos e ferramentas existentes com relação a promoção da qualidade total que, serão a base da proposta de um modelo que auxilie ao projeto de processos, trazendo uma nova visão sobre a elaboração e definição de técnicas a serem utilizadas no desenvolvimento de novos produtos.

Portanto, levando em consideração as normas de Sistema de Gestão Ambiental, indicar-se-á os meios para que o produto, serviço ou processo seja ambientalmente sustentável e não agrida ou altere o meio ambiente.

## **2.4 MÉTODOS E MODELOS**

### **2.4.1 Ciclo PDCA**

O controle do processo conceituado como estabelecimento de padrões, manutenção e melhoria de padrões, é exercido através do ciclo PDCA de controle de processo.

- **Planejamento (P)** – Consiste em:
  - a) estabelecer metas sobre os itens de controle;
  - b) estabelecer a maneira (o caminho, o método) para se atingir as metas propostas.
- **Execução (D)** – Execução das tarefas exatamente como previstas no plano e coleta de dados para verificação do processo. Nesta etapa é essencial o treinamento no trabalho decorrente da fase de planejamento.
- **Verificação (C)** – A partir dos dados coletados na execução, comprara-se o resultado alcançado com a meta planejada.
- **Atuação corretiva (A)** – Esta é a etapa onde o usuário detectou desvios e atuará no sentido de fazer correções definitivas, de tal modo que o problema nunca volte a ocorrer.  
Após concluído o primeiro ciclo, utiliza-se o conhecimento adquirido para repetir as quatro fases novamente.

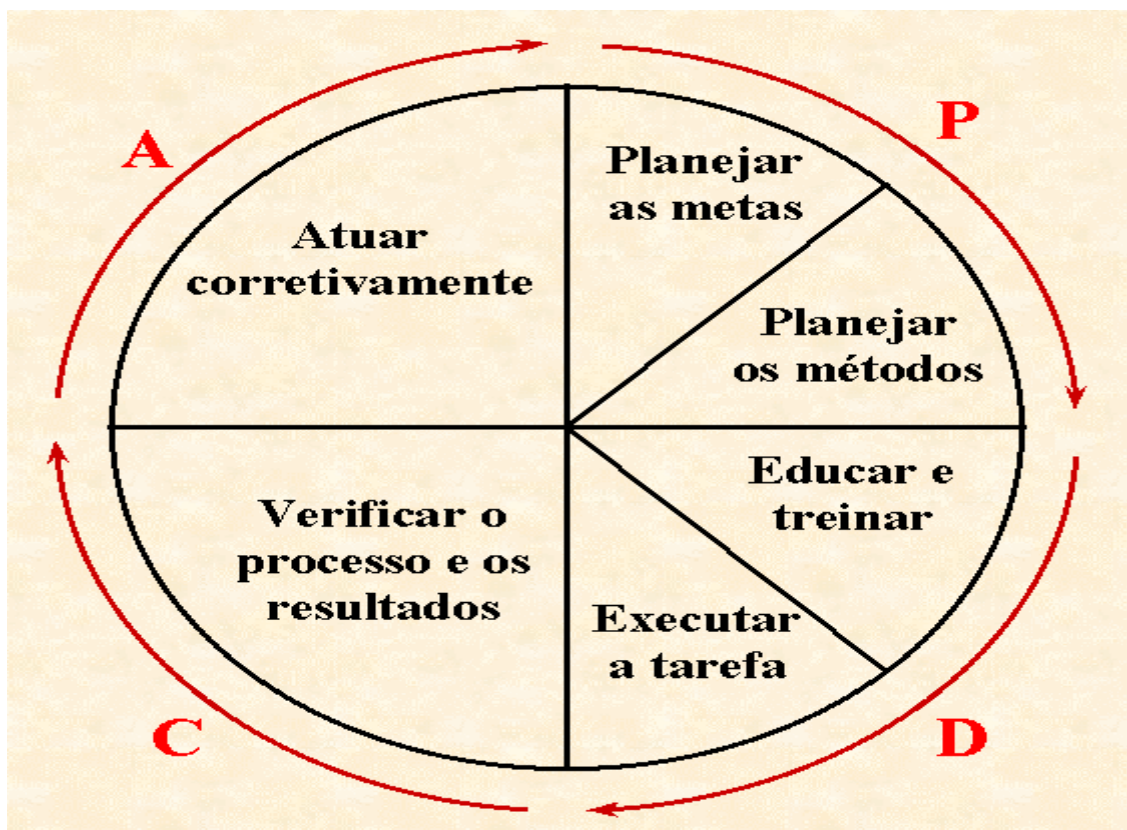


Figura 02 – PDCA

Outros métodos foram desenvolvidos porém como uma abordagem muito semelhante ao PDCA e que estão descritos a seguir.

#### 2.4.2 Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) ou Método de Análise e Melhoria de Processo (MAMP)

A solução dos problemas da empresa, ou seja a melhoria dos resultados da empresa (já que problema é resultado indesejável) - deve ser feita através de métodos com a participação de todos. É um caminho para analisar e melhorar os processos de trabalho, de modo a alcançarem plenamente os seus objetivos .

Etapas a serem seguidas:

1. identificação e seleção do problema;
2. busca e avaliação das causas;
3. geração das alternativas de solução;
4. avaliação das alternativas de solução;
5. planejamento de ações;
6. padronização;
7. implantação e avaliação.

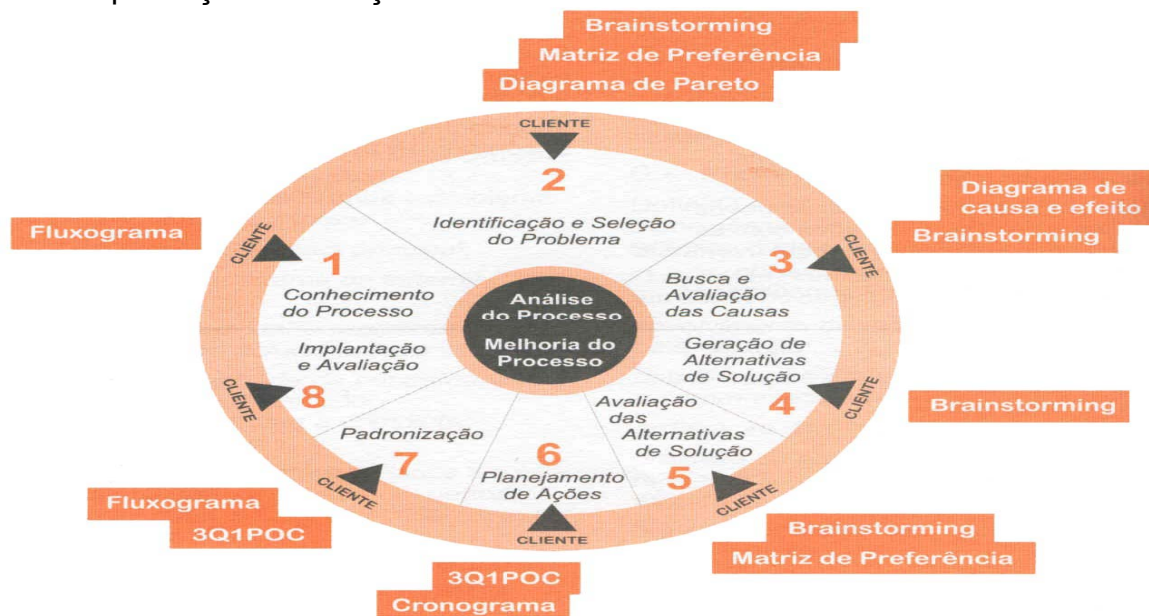


Figura 03 - Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) ou Método de Análise e Melhoria de Processo (MAMP)

Fonte: Manual do Empresário - Melhoria de Processos – Programa Sebrae da Qualidade para às Micro e Pequenas Empresas.

### 2.4.3 Método do QC Story

Conhecido como **Método de Análise e Solução de Problemas**, foi adotado pela Union of Japanese Scientist and Engineers (JUSE) para a resolução de problemas. Kume(1993), apresenta o processo apresentado em sete passos como descrito na figura 04 a seguir.

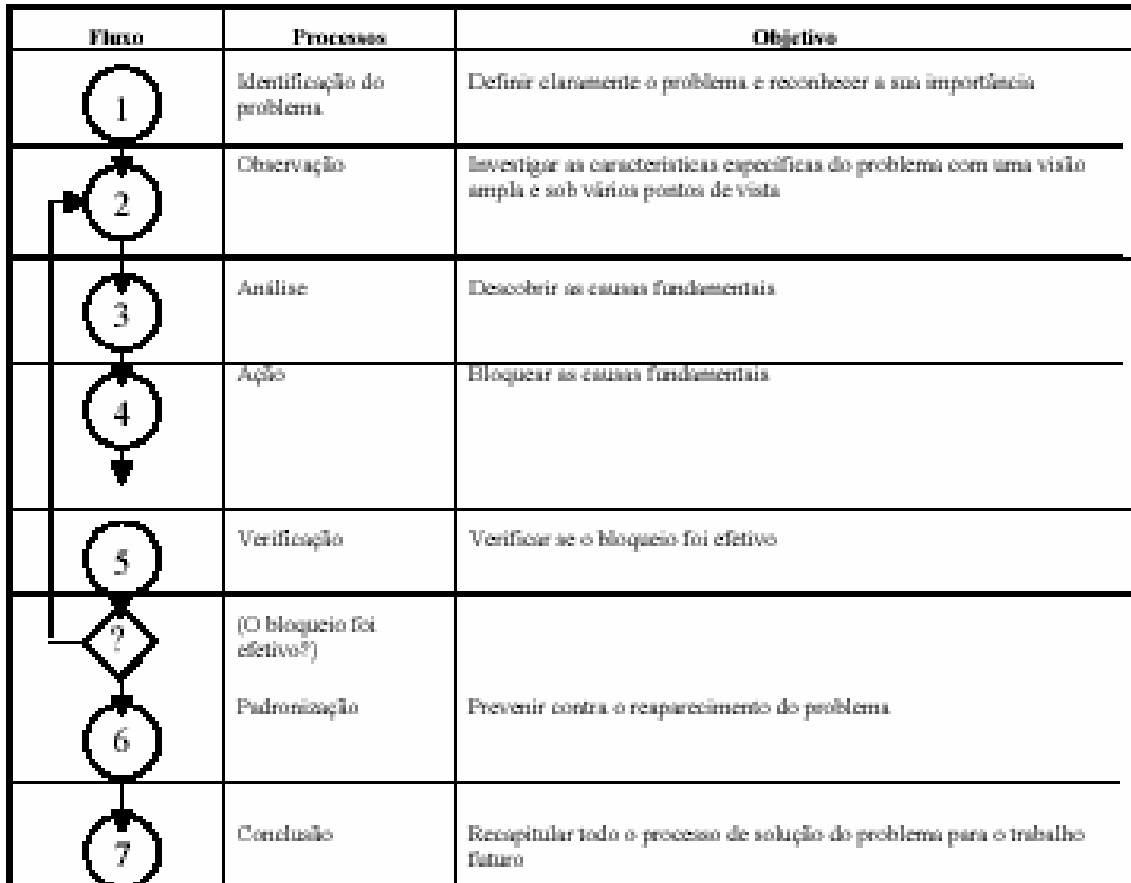


Figura 04 – QC Story - (Kume 1993)

### 2.4.4. Método de Ciclo de Oportunidades (SANTOS,1999)

Este método, desenvolvido por James H.Harrington, como sendo um meio sistemático para resolver problemas e evitar que os mesmos ocorram novamente (figura 05). Cada problema deve passar por cinco fases:

- a) Fase de seleção do problema: selecionar os problemas que representam um gargalo ou um desperdício na área e coletar os dados que medirão a extensão de cada um deles;
- b) Fase da análise: efetuar uma análise detalhada para obtenção de mais informações a respeito do problema e identificação das causas;
- c) Fase da correção: desenvolver um plano de solução e para evitar a repetição do mesmo;
- d) Fase da medição: medir o impacto do plano de ação depois de implementado;
- e) Fase de prevenção: utilizar os conhecimentos adquiridos e aplicar a soluções para prevenção da ocorrência de novos problemas.

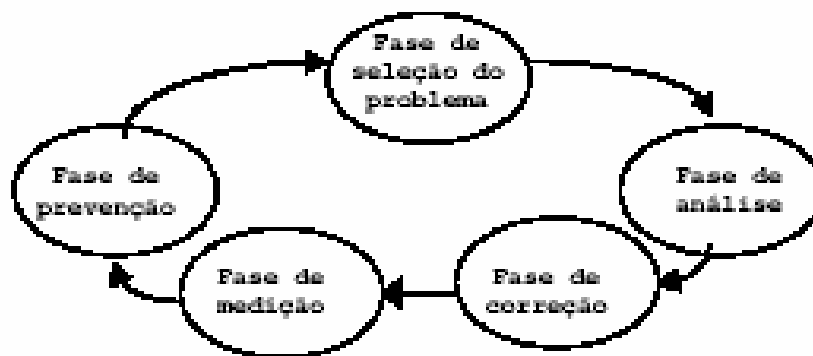


Figura 05 – Ciclo de oportunidades de Harrington

Fonte: Santos (1999)

#### 2.4.5. Método do Processo de Melhoria da Qualidade (BERWICK (1995 apud SANTOS, 1999));

Apresenta uma seqüência geral de passos do processo e melhoria da qualidade (PMQ), utilizada pelo Instituto Juran.

- a) Definição e organização do projeto: listar e estabelecer prioridades para os problemas e definir o projeto e a equipe;
- b) Jornada do diagnóstico: analisar os sintomas, formular teorias sobre as causas, testar as teorias e identificar as causas fundamentais;



- c) Jornada para a solução: considerar soluções alternativas, projetar soluções e controles, cuidar da resistência à mudança e Implementar soluções e controles;
- c) Manter os ganhos: verificar o desempenho e Monitorar o sistema de controle.”

#### 2.4.6 Método de Abordagem Sistêmica de Problemas(SANTOS (1999)

Apresenta um método desenvolvido por Jean-Marie Douchy que sugere a resolução de um problema por vez, objetivando o zero defeito:

- a) reconhecer que há um problema;
- b) identificar o problema;
- c) informar-se sobre a natureza do problema identificado;
- d) reparar a não-conformidade;
- e) procurar as causas possíveis;
- f) imaginar as soluções;
- g) escolher a solução;
- h) definir e experimentar o sistema de controle;
- i) decidir / obter a concordância da administração sobre a solução proposta;
- j) aplicar a solução escolhida;
- k) controlar se o objetivo é atingido, se o processo é confiável;
- l) oficializar, generalizar a solução encontrada.”

#### 2.4.7 Método de Análise de Valor

A análise de valor, também denominada de Engenharia do Valor, é definida por BASSO (1991, p.13) como:

A análise de valor visa conciliar os valores idealizados pelo fornecedor e pelo consumidor, apresentando uma abordagem integrada, isto é, visa dotar um produto das funções e qualidades que, por um lado, o torna preferencial e com preço justo para o consumidor e, por outro lado, lucrativo para o fornecedor.

A análise de valor de processos permite identificar as atividades que agregam valor (AV) e que as não agregam valor (NAV) ao cliente, conforme definido por Harrington (1993).

#### 2.4.8 Análise de Atividades de Área (AAA)

Considerada, por Harrington e Lomax (2000), como o primeiro método que deve ser aplicado para a melhoria do desempenho dos processos, pois permite conhecer:

- propósito de cada processo;
- as atividades que devem ser executadas para completar a missão do processo;
- resultado do processo (produtos);
- os requerimentos dos clientes internos e externos;
- meio de medir o desempenho do processo;
- padrão de aceitação do desempenho.

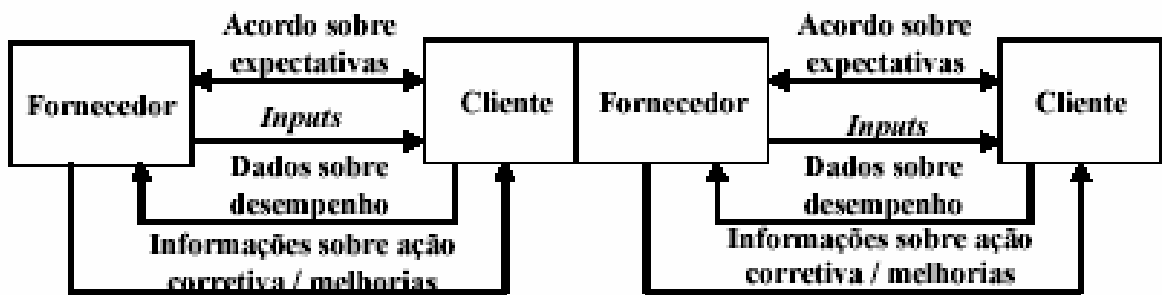


Figura 06 – Modelo Cadeia Fornecedor/Cliente

Fonte: Harrington/Lomax (2000)

A figura 06 mostra um esquema básico, enquanto que a figura 07 apresenta as fases da ferramenta.

#### 2.4.9. Método para Análise Crítica e Melhoria do Controle do Processo Produtivo

O Método para análise crítica e melhoria do controle do processo produtivo foi desenvolvido por Santos (1999, p. 3), com o objetivo de:

Prover uma metodologia para melhoria contínua do processo produtivo através da tradução das falhas de campo em linguagem operacional, o que permite a identificação das etapas do processo que mais influenciam as reclamações de campo.

Este método está baseado na utilização da filosofia do QFD (*Quality Function Deployment*), traduzida como o desdobramento da função qualidade, que é um método que auxilia na interpretação dos desejos do cliente e permite transformar esses desejos em linguagem de projeto. Com as informações derivadas do consumidor e os processos identificados, o método busca, através da visão do processo produtivo e dos reflexos sobre os problemas de campo, identificar os pontos de melhoria que necessitam de um controle mais efetivo. Essa atividade é realizada com o auxílio de metodologias e ferramentas da qualidade.

<b>Análise das Atividades da Área/Processo (AAA)</b>
<b>Fase 1: Preparar para a AAA</b> a) Analisar o ambiente b) Formar a equipe de projeto c) Definir o processo de implementação d) Envolver a alta-administração e) Comunicar os objetivos da AAA
<b>Fase 2: Desenvolver a declaração da missão</b> a) Obter a declaração da missão existente b) Desenvolver declaração da missão preliminar (Administração) c) Desenvolver declaração da missão preliminar (Funcionários) d) Elaborar um consenso da declaração da missão e) Finalizar a declaração da missão f) Desenvolver a política de serviço do processo
<b>Fase 3: Definir as atividades da área / processo</b> a) Identificar todas as atividades b) Agrupar em categorias c) Mensurar o tempo dispendido para realizar cada atividade d) Identificar as atividades principais e) Comparar a lista de atividades com a missão f) Alinhar as atividades com a Missão g) Aprovar a Missão e as atividades h) Determinar as atividades críticas
<b>Fase 4: Desenvolver o relacionamento com o Cliente</b> a) Selecionar a atividade crítica b) Identificar os clientes de cada produto c) Identificar a expectativa do cliente d) Definir o item de controle e) Analisar e revisar com o cliente f) Definir o processo de Feedback g) Reconciliar a expectativa do cliente com a missão e as atividades
<b>Fase 5: Analisar a Eficácia da Atividade</b> a) Definir a medida de eficácia b) Entender a atividade executada c) Definir o sistema de divulgação dos dados d) Definir os requerimentos do desempenho e) Aprovar o desempenho padrão f) Estabelecer o quadro do boletim de desempenho
<b>Fase 6: Desenvolver a parceria com os fornecedores</b> a) Identificar os fornecedores b) Definir os requerimentos c) Definir o padrão de desempenho e medida d) Definir o procedimento de Feedback e) Firmar acordo com o fornecedor
<b>Fase 7: Melhoria do desempenho</b> a) Fixar o sistema de informações do desempenho b) Identificar as atividades a serem melhoradas c) Instalar uma medida de proteção se, necessário d) Identificar a medição ou tarefa a ser melhorada e) Encontrar a melhor solução f) Implementar a solução g) Remover a proteção inicial se instalada h) Prevenir o retorno dos problemas

Figura 07 – Sete Fases da Ferramenta AAA  
 fonte:  
 Harrington/Lomax (2000)

Segundo SANTOS (1999);

Esse método está fundamentado nas informações sobre o desempenho dos produtos no campo para corrigir, em curto prazo entre outras coisas, as distorções decorrentes, do planejamento inadequado do processo. A figura 08 apresenta o método que está dividido em seis etapas interligadas.

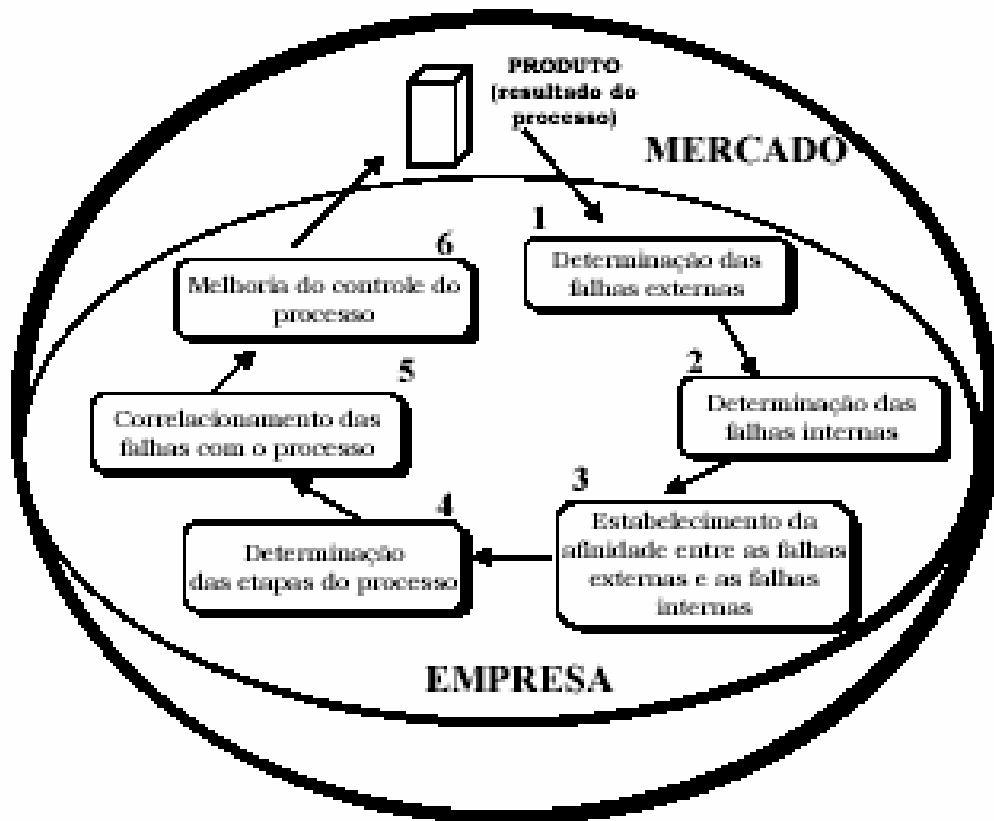


Figura 08 – Método para a Análise Crítica e Controle do Processo Produtivo

Fonte: Santos (1999)

#### 2.4.9.1. Bases do Método de Análise Crítica e Melhorias do Controle do Processo Produtivo

O método para análise crítica e melhoria do controle do processo produtivo está baseado na utilização dos conceitos do *Desdobramento da Função Qualidade* (QFD), segundo a abordagem desenvolvida por AKAO (1990).

O modelo de AKAO sugere a utilização de quatro desdobramentos para um estudo mais abrangente e completo sobre um determinado tema:

- a) desdobramento da Qualidade;
- b) desdobramento da Tecnologia;
- c) desdobramento da Confiabilidade;
- d) desdobramento do Custo.

A utilização, ou não, de todas as fases está relacionada com as características do setor da empresa que está realizando o estudo. Uma das características mais importantes do modelo de Akao é o entendimento do QFD num sentido mais amplo, separando-o em QD (desdobramento da qualidade) e QFDr (desdobramento da função qualidade no sentido restrito).

No método proposto por Santos (1999), utiliza-se da lógica do QD, que visa desdobrar a qualidade e utilizar a lógica da causa e efeito de forma sistematizada. Esse desdobramento parte das reclamações do desempenho do produto na casa do consumidor (voz do cliente) e passa por uma análise dos problemas internos, até chegar a um determinado processo produtivo causador da reclamação do consumidor.

O método leva também em consideração o conceito de “*Qualidade On-line*”, através do qual, segundo PALADINI (1997, p. 20), “*o modelo da qualidade on-line procura viabilizar, em termos práticos a ênfase que se confere ao cliente no conceito da qualidade*”. Esse modelo define o esforço da empresa em alterar rapidamente o processo produtivo para adequar o produto às preferências do consumidor, e no método proposto em relação as suas insatisfações quanto ao desempenho do mesmo, em virtude de mudanças de hábitos e comportamento de uso.

#### 2.4.9.2. Etapas do Método

##### Etapa 1. Determinação das Falhas Externas

Consiste na identificação e priorização da falhas de campo ocorridas em um determinado período de tempo. As informações são coletadas de ordens de serviços executadas, reclamações de clientes e/ou pesquisas de atendimento e

analisadas e priorizadas de acordo com os critérios pré-estabelecidos. Ferramentas da qualidade, tais como gráfico de Pareto (figura 10), FMEA, entre outras, são utilizadas nessa etapa. A figura 09 mostra essa etapa.

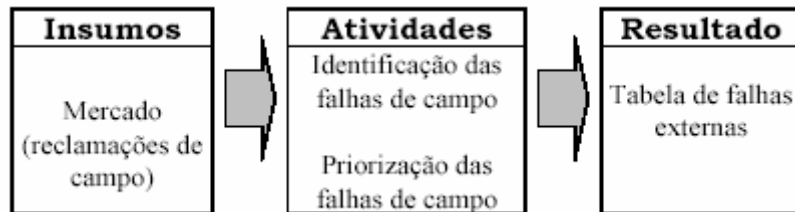


Figura 09 – Etapa 1: Determinação de Falhas Externas

Fonte: SANTOS (1999)

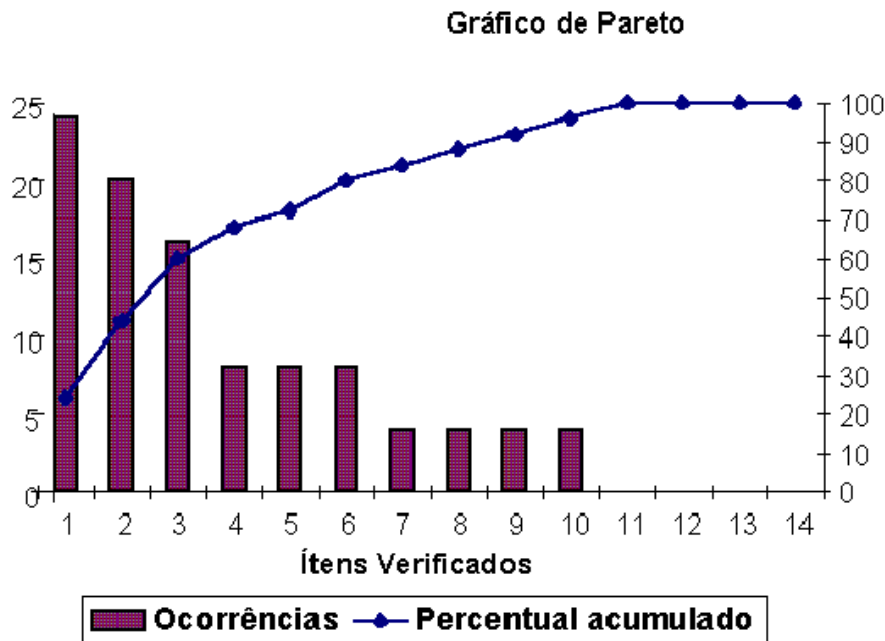


Figura 10 – Gráfico de Pareto

## Etapa 2 – Determinação de Falhas Internas

Esta etapa é idêntica a anterior, porém, os dados procedem do processo produtivo. Esses dados podem ser obtidos a partir dos relatórios de qualidade fabril, relatórios da inspeção de recebimento de materiais e resultados de teste de linha,

entre outros. O resultado dessa etapa é uma relação das falhas ocorridas no processo produtivo (figura 11).

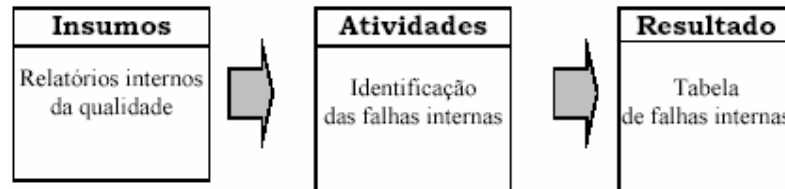


Figura 11 – Etapa 2 – Determinação de Falhas Internas

Fonte: SANTOS 1999

### Etapa 3 – Estabelecimento da Afinidade entre as Falhas externas e as Falhas Internas

Nessa etapa é verificada a relação existente entre as falhas externas e internas. As ferramentas de *Brainstorming*, diagrama de afinidades, diagrama de causa e efeito podem ser utilizadas para a determinação das falhas relacionadas (figura 12).

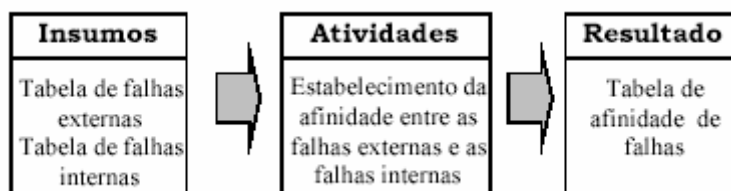


Figura 12 – Etapa 3 – Afinidade entre Falhas Externas e Falhas Internas

Fonte: SANTOS (1999)

### Etapa 4 – Determinação das Etapas do Processo

A primeira atividade desta etapa é o mapeamento dos processos relacionados aos produtos que apresentam uma maior incidência de falhas interna e externa. O mapeamento do processo pode ser efetuado mediante a elaboração do fluxograma das atividades do processo. Os planos de fabricação, procedimentos

operacionais, especificações de processo e relatórios de auditorias de processo, são fontes de informações valiosas para este trabalho.

Com o fluxograma do processo desenhado é possível elaborar uma tabela com as etapas do processo. Estas atividades estão representadas na figura 13. Para Harrington (1993) durante a elaboração de um mapeamento do processo, através de um fluxograma, deve-se:

- a) delimitar o processo, identificando seu início e fim;
- b) definir as etapas do processo, listando as atividades, entradas e saídas;
- c) listar as etapas definidas em ordem seqüencial;
- d) analisar criticamente, verificando se as etapas definidas estão dispostas corretamente e se as atividades listadas correspondem à realidade da produção;
- e) fazer as correções necessárias, com base na análise anterior, e utilizando os símbolos adequados, indicar a direção do fluxo, as etapas iniciais e finais, os pontos de decisão e todas as referências necessárias ao entendimento completo do processo.

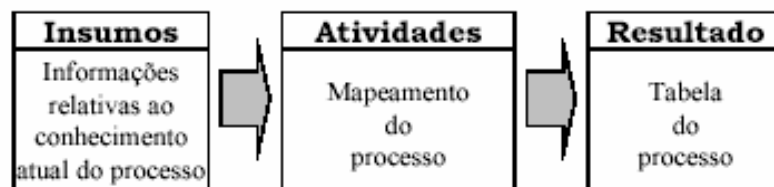


Figura 13 – Etapa 4 – Determinação das Etapas do Processo

Fonte: SANTOS (1999)

#### Etapa 5 – Correlação das Falhas com o Processo

Esta etapa tem a finalidade de estabelecer um elo entre as falhas, identificadas na etapa 3, com o processo produtivo, para identificar quais os processos devem ser melhorados. A utilização do diagrama de matriz auxilia na identificação da correlação entre os dados da tabela de afinidade de falhas e aqueles dados da tabela de processos (figura 14). Essa etapa possui três atividades:

- a) estabelecimento da correlação entre as falhas e as etapas do processo;



- b) determinação do grau de importância real das falhas;
- d) priorização dos processos a serem melhorados.

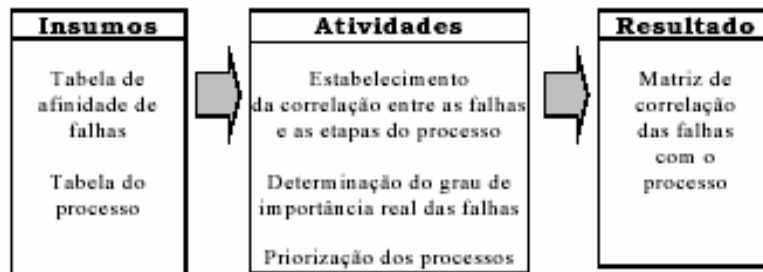


Figura 14 – Etapa 5 – Correlação das Falhas Com os Processos

Fonte: Santos (1999)

#### Etapa 6 – Melhoria do Controle do Processo

Após a identificação dos processos críticos, parte-se para a investigação das causas, análise, elaboração do plano de ação, implantação e controle dos resultados. Esta etapa consiste de duas atividades (figura 15):

- a) aplicação de uma método de melhoria dos processos;
- b) relato das melhorias introduzidas.

SANTOS (1999) afirma,

*“Que após a conclusão do projeto de melhoria, deve-se reportar as informações que contribuem com a qualidade do desenvolvimento de novos produtos e processos. As informações servirão, também, para perpetuar os conhecimentos adquiridos e contribuir para o processo de melhoria da empresa. A melhoria dos processos somente será efetiva, se houver uma combinação de método e ferramentas da qualidade. E também somente o uso de um método, por si só, não resolverá os problemas . existe a necessidade do emprego de ferramentas da qualidade, também denominadas de técnicas da qualidade.*

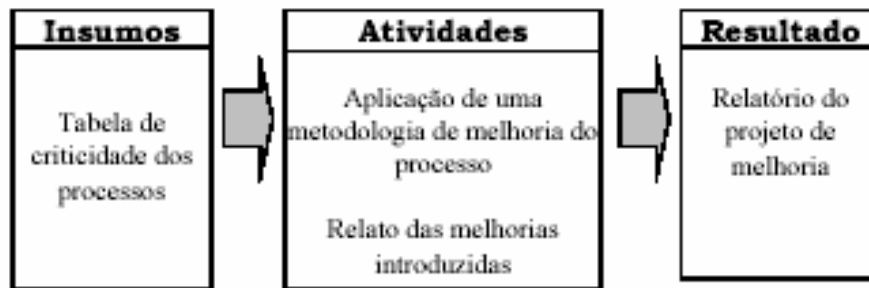


Figura 15 – Etapa 6 – Melhoria do Controle dos Processos

Fonte: SANTOS 1999

#### 2.4.10. Método Seis Sigma

A metodologia 6 Sigma teve origem na Motorola, que adotou para manter-se competitiva. Quando uma empresa japonesa assumiu a direção de uma fábrica da Motorola, que fabricava aparelhos de televisão nos Estados Unidos em meados de 1970, estabeleceu de imediato mudanças drásticas na maneira pela qual a fábrica operava (Harry 1988).

Sob gestão japonesa, a fábrica passou a produzir aparelhos de televisão com número de defeitos bem inferior aos índices da gestão anterior. Os novos empreendedores garantiram essa mudança com o auxílio da mesma equipe, tecnologia e equipamentos, deixando claro que o problema estava na gestão da Motorola. Em meados de 1980, a empresa decidiu implantar a metodologia 6 Sigma. Naquela época, o diretor presidente da Motorola, Bob Galvin, implantou o programa 6 Sigma e tornou-se, por extensão, símbolo de negócios tanto quanto de resultados, considerando-se as metas atingidas no controle de qualidade da Motorola (Harry, 1998).

Bill Wiggernhorn (apud Breyfogle, 1999) disse que:

*“o início do 6 Sigma foi um exemplo de pioneirismo, coragem, intelectualidade e visão da realidade do pai do 6 Sigma, o engenheiro sênior e cientista, Bill Smith, que desenvolveu a estatística original e as fórmulas que iniciaram a cultura da metodologia. Ele teve a idéia, e passou para nosso diretor presidente, Bob Galvin; Bob pôde ver a força da concepção e acreditou na idéia. Ele perguntou para Bill o que seria necessário para montar a cultura de 6 Sigma na Motorola.”*

Atualmente, a Motorola é conhecida mundialmente como líder em qualidade e lucratividade. Depois que obteve o Prêmio Nacional de Qualidade Malcolm Baldrige, em 1988, o segredo do seu sucesso tornou-se público e a revolução do 6 Sigma teve início. Ajudando as empresas a oferecer melhores produtos e serviços, de maneira mais rápida e com menor custo, o 6 Sigma tradicionalmente visa à prevenção de defeitos, redução de tempo de ciclo e custos. Diferente de negligentes programas de redução de custos que reduzem valor e qualidade, o 6 Sigma identifica e elimina custos que não oferecem valor agregado. Para empresas que não utilizam o 6 Sigma, esses custos são extremamente altos. Aquelas que operam com 3 ou 4 sigma gastam tipicamente entre 25% a 40% de sua receita solucionando problemas. Isso é conhecido como custo inútil da qualidade, ao passo que empresas que operam com o 6 Sigma gastam menos do que 5%. A General Electric estima que o intervalo entre 3 e 4 sigma estava custando-lhes entre 8 bilhões e 12 bilhões de dólares por ano (General Electric Annual Report, 2001).

O objetivo da metodologia 6 Sigma é busca atingir níveis de 3,4 ppm dos CTQs (críticas para a qualidade). Um dos maiores impulsos das empresas, que aplicam a metodologia 6 Sigma, tem sido o desenvolvimento de especialistas altamente treinados, ao longo de determinado período, para organizar equipes e trabalhar em projetos de melhoria. A estrutura do 6 Sigma foi criada na Motorola para designar especialistas na aplicação das ferramentas estatísticas (Harry 1994 a):

- *Champion* – Representante da alta administração, tal gerente da planta ou vice-presidente-executivo, estes utilizam o 6 Sigma no seu dia a dia e transmitem a mensagem de 6 Sigma em todas as oportunidades.
- *Master Black Belts* – É o nível mais alto de proficiência técnica e organizacional, estes oferecem liderança, devem conhecer tudo que o *Black Belts* sabem, bem como entender a teoria matemática na qual os métodos estatísticos são baseados. Os *Master Black Belts* devem estar aptos a acompanhar *Black Belts* na aplicação correta dos métodos em situações incomuns.
- *Black Belts* – Os candidatos podem vir de uma extensa linha de disciplinas e não precisam ser engenheiros ou estatísticos formalmente treinados. Os *Black Belts* trabalham para extrair conhecimento litigioso do armazenamento de informações da organização. Para assegurar o acesso às informações necessárias, as

atividades do 6 Sigma devem ser estritamente integradas com os sistemas de informações da organização.

- *Green Belts* – São executores de projeto 6 Sigma capazes de formar e facilitar equipes de 6 Sigma e administrar os projetos do conceito à conclusão.
- *Team Members* – Representante do chão de fábrica responsável na coleta de dados do processo de produção, seguindo orientação do *Green Belt* ou *Black Belt*.

Na execução dos projetos as ferramentas são aplicadas dentro de um modelo simples de controle de desempenho, conhecido como *DMAIC* (figura 16):

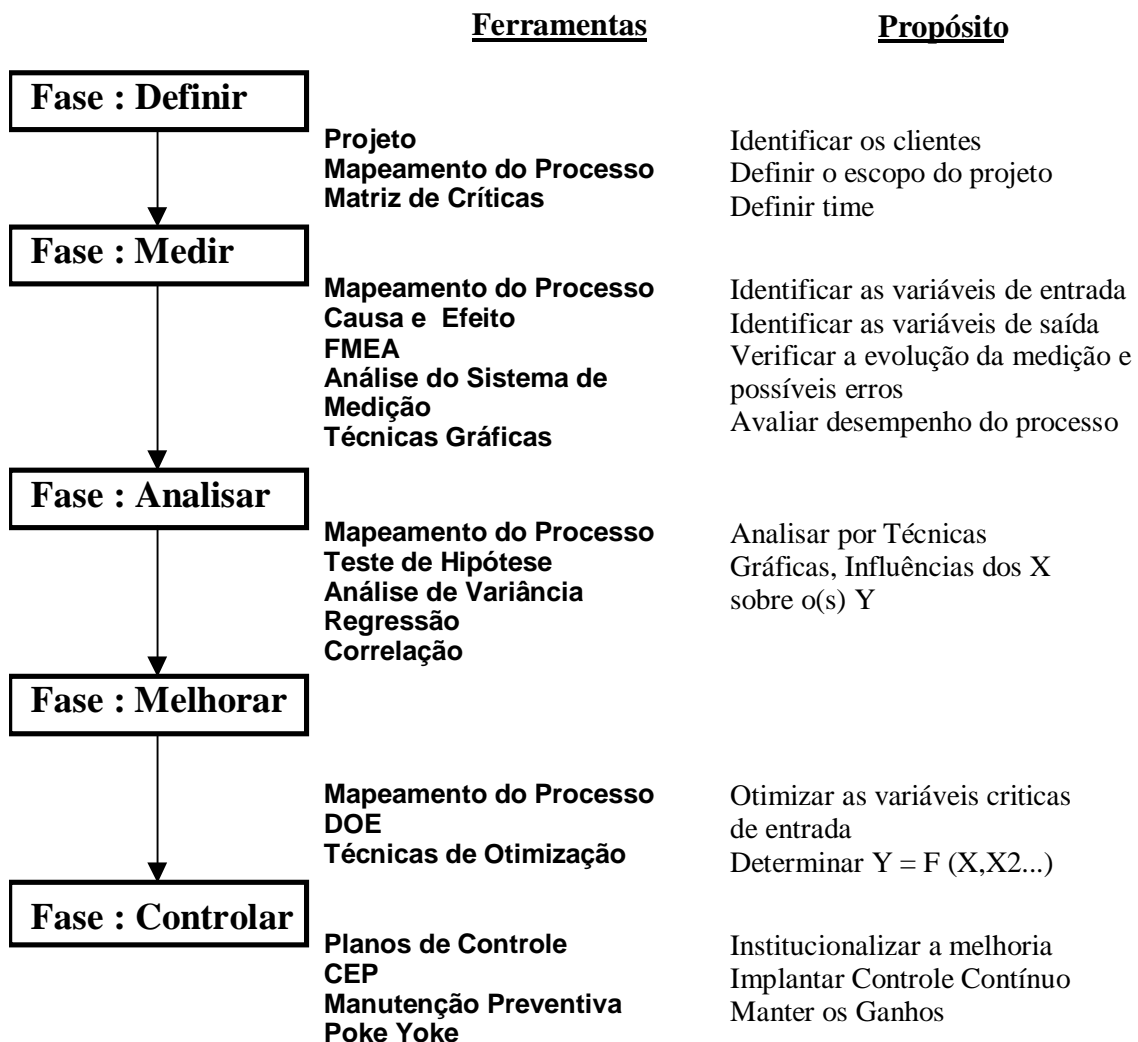


Figura 16 – Metodologia 6 Sigma

Fonte: Harry (1998).

O 6 Sigma possui métodos verdadeiros e testados ao longo de décadas. Assim, esta metodologia descarta a muita complexidade, característica da Gestão de Qualidade Total (GQT). Segundo os especialistas, havia 400 ferramentas e técnicas de GQT, enquanto o 6 Sigma adota um número menor de métodos testados e treina os líderes técnicos para que estes atinjam alto nível de proficiência para aplicação destas técnicas (Godfrey 2000).

#### 2.4.10.1. Implantação do 6 Sigma

A implantação do 6 Sigma é executada por uma equipe de especialistas nos processos, capacitados a pensar estatisticamente, a fim de encontrarem a solução para a causa dos problemas. Esta equipe atua como agente de mudança na organização, aplicando e disseminando o uso das ferramentas estatísticas e da qualidade no aprimoramento dos projetos. Uma vez que o processo apresenta-se maduro na organização, pode-se compartilhar projetos com clientes e fornecedores. Uma excelente oportunidade, junto a fornecedores, é a realização de projetos conjuntos para aumento da qualidade de insumos relevantes para a organização, compartilhando os treinamentos para o mesmo (Godfrey, 2000).

Usualmente, os projetos com clientes visam melhorar o desempenho do produto final, na sua utilização pelo cliente, pois aumentam a fidelidade. A GE auxiliou a realização de 1.200 projetos em companhias aéreas e mais de 1.000 projetos junto a hospitais, gerando economias superiores a US\$ 400 milhões para seus clientes (Hahn, Hill e Zinkgraf, 1999).

A estratégia de implementação recebeu contribuições importantes de organizações como IBM, Xerox, Texas Instruments, AlliedSignal (atualmente Honeywell) e GE, onde o processo de melhoria *DMAIC* foi padronizado como o principal método de aprimoramento para atingir a qualidade 6 Sigma, a tabela 03 mostra que o 6 Sigma teve maior adesão a partir de 1995 com a entrada da GE.

Empresa	Ano
Motorola	1987
Texas Instruments	1988
IBM	1990
ABB- Asea Brown Boveri	1993
AlliedSignal e kodack	1994
General Electric	1995
Whirpool, PACCAR, Invensys e Polaroid	1996/98
Ford, American Express, DuPont, LG, Sony	1999
Samsung, Johnson & Johnson.	1999

Tabela 01 – História da Implementação do 6 Sigma.

Fonte: Snee (2000).

Um aspecto crítico, na implantação do 6 Sigma, é a capacitação dos agentes de mudança, pois na maioria das vezes, são especialistas de processos, que usam pouco ou até desconhecem as ferramentas estatísticas que serão aplicadas. A Motorola pioneira na implantação do 6 Sigma, define suas características em dois níveis: o gerencial, onde cada pessoa da organização é responsável pela melhoria da qualidade de seus processos, produtos e serviços; e o operacional, utilizando-se das ferramentas estatísticas para controle. As empresas bem sucedidas com o 6 Sigma têm grandes problemas para integrar sua implementação à outras iniciativas corporativas, estratégias de negócios e métricas de desempenho. Para esta finalidade a AlliedSignal estendeu o uso de ferramentas e abordagens do 6 Sigma fora da produção, para as operações de suporte de serviços de escritórios. Isso está sendo aplicado para melhorar os processos de desenvolvimento do produto, como por exemplo, colocar produtos no mercado mais rapidamente. Ocorre quase o mesmo na GE, na qual articulou-se três estratégias corporativas principais da empresa para o futuro previsível: globalização, serviços e 6 Sigma. A tabela 04 mostra os tópicos básicos recomendados para o treinamento do Black Belt, com duração de quatro semanas e carga horária de 160 horas (Hoerl, 2001).

Semana	Ferramentas	FASE
1ª	Introdução ao Seis Sigma	Definir
	Custo da Qualidade	
	Definição dos CTQs	
	Voz do Cliente- VOC	
	Análise SIPOC	
	Mapeamento do Processo	Medir
	Plano de Coleta de Dados	
	Estatística Descritiva	
	Análise de Capabilidade do Processo	
2ª	QFD	Analisar
	FMEA	
	Análise do Sistema de Medição	
	Estatística Básica Utilizando o Minitab	
	Análise Multi-Vari	
	Análise gráfica de dados	
	Teorema do Limite Central	
	Intervalo de Confiança	
	Teste de Hipóteses	
Análise de Regressão e Correlação		
3ª	ANOVA	Melhorar
	Análise de Regressão Múltipla	
	DFSS	
	DOE	
4ª	RSM	Controlar
	Padronização	
	Métodos de Controle de Processo	
	CEP	
	Plano de Controle	
	Dispositivos a Prova de Falha	

Tabela 02 – Treinamento Recomendado para Black Belt.  
Fonte: Hoerl (2001).

Este treinamento visa a formação de Black Belts, que é o líder do time para implantação dos projetos com dedicação integral aos mesmos. O treinamento utiliza as fases do *DMAIC*, agrupadas em quatro módulos. O objetivo é capacitar a equipe com o conhecimento de métodos estatísticos voltados para a metodologia 6 Sigma. O treinamento é baseado em certificação e pressupõe-se que os participantes atuem em um projeto de interesse da organização que será desenvolvido ao longo de 6 meses, para a aplicação prática da metodologia apresentada, facilitando o entendimento e proporcionando um resultado imediato (SNEE, 2000).

O sucesso da melhoria do desempenho que deve começar na alta administração, que deve também fazer uso das ferramentas para que possam preparar sua organização para atingir os objetivos. Utilizando o conhecimento adquirido, os líderes direcionam o desenvolvimento de uma infra-estrutura de gestão para apoiar o 6 Sigma. Simultaneamente os passos são obtidos para estabilizar a organização e cultivar um ambiente para inovação e criatividade. Isso envolve a remoção de barreiras entre os níveis hierárquicos organizacional e uma variedade

de outras mudanças projetadas para facilitar o processo de implantação. A figura 17 ilustra as ações necessária para o sucesso do 6 Sigma (HARRY, 1988).

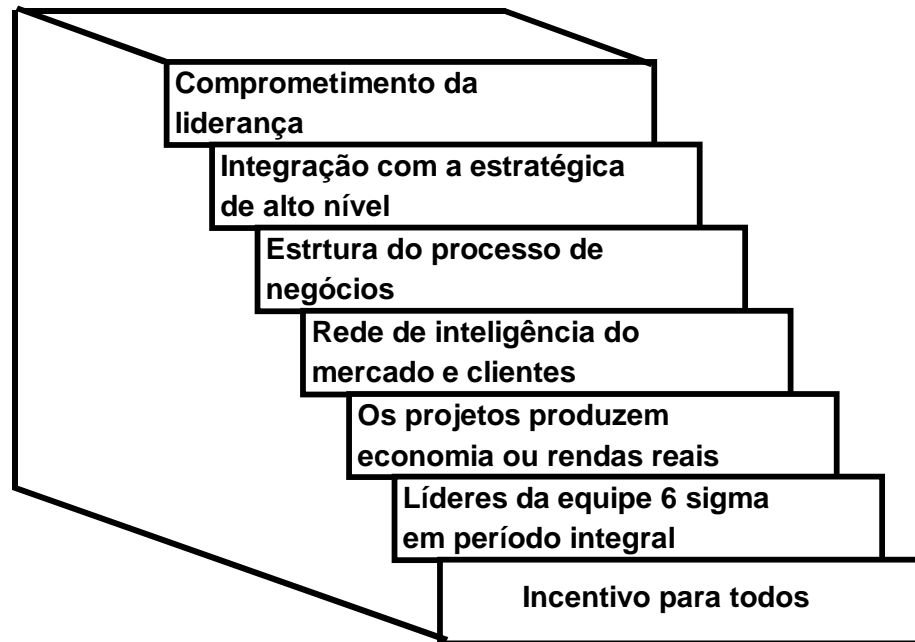


Figura 17 – Fatores de Sucesso para Implementação do 6 Sigma.

Fonte: Harry (1988)

Finalmente para que a implementação continue madura, os próximos passos deverão ser seguidos:

1. **Auditoria Organizacional:** Primeiramente, com base nas entrevistas com líderes de unidades de negócios e equipes-chave, onde é determinado o que a empresa sabe sobre seus clientes e concorrentes. As questões a serem feitas para indivíduos de cada unidade de negócio incluem:

- Os processos dos negócios são planejados?
- Quais medições são feitas atualmente?
- Os proprietários do processo têm sido designados?
- O que atualmente é conhecido sobre os clientes da empresa em diferentes segmentos de mercado?
- Quais os CTQs ?
- A empresa está preparada para atender esses a requisitos de medição?



- Qual informação competitiva é necessária, e para onde o mercado está se direcionando?
- Há alguém na equipe responsável pela medição, análise e que tenha conhecimentos de contabilidade?

Com base nessas discussões, a equipe determina quais unidades de negócios e indivíduos são provavelmente fortes intercessores e apoiadores dos esforços do 6 Sigma e onde permanecem as áreas de resistência. A equipe de implementação analisa cuidadosamente os danos de auditoria na preparação para o próprio passo.

**2. Reuniões de Planejamento da Ação Executiva:** Segundo estágio em que há uma sessão de dois dias entre o Diretor Presidente e a equipe de alta administração da empresa para desenvolver uma visão de como o 6 Sigma pode ajudar a empresa a atender seus objetivos de negócios.

Nessa reunião, os diretores enfatizam que o 6 Sigma será a ferramenta fundamental pela qual a empresa permanece conectada a seus clientes e mercados. Além disso, isso fornece uma linguagem comum para desenvolver uma cultura de melhoria contínua e integrar outras iniciativas de melhoria. Após a visão ser acordada, a equipe executiva passa o tempo conhecendo as ferramentas e os métodos do 6 Sigma e cuidadosamente fazendo o planejamento estratégico. O acordo é alcançado sobre as economias líquidas, crescimento, e melhoria de satisfação do cliente nos cinco dias seguintes, discutindo também a auditoria organizacional.

**Reuniões para Melhoria:** Direcionadas para que as pessoas familiarizem-se com o método e a estratégia do 6 Sigma, e saibam como serão integrados dentro do plano existente de negócios para direcionar ao desempenho aprimorado e custos mais baixos. O foco de atividades está em auditar as necessidades do cliente, fazer *benchmarking*, e conhecer o processo dentro da unidade de negócio. Isto harmoniza melhor as mudanças das necessidades do cliente e desenvolve mecanismo para contato permanente com o mercado facilitando o desenvolvimento de novos projetos (Blakeslee, 2000).

## **2.5.MODELO BASEADO NOS ESTUDOS DE RASIS, GLITLOW , POPVICK, VALMIR**

### **2.5.1.Fase Definir**

Na fase definir, são identificados os projetos 6 Sigma que serão desenvolvidos na empresa, com objetivo garantir a VOC (voz do cliente), identificando os CTQs, satisfazendo as expectativas, em termos de qualidade, preço e prazo de entrega. A habilidade das organizações em atender a essa expectativa está intimamente ligada à variação de seus processos. A variação de processos tem um impacto direto nos resultados financeiros da empresa em termos de custo, tempo de ciclo e número de defeitos, falhas e erros que afetam a satisfação do cliente. A identificação de projetos 6 Sigma permite às organizações reconhecerem como os seus processos afetam sua lucratividade, permitindo definir quais desses processos são críticos para o negócio da empresa (Breyfogle, 1999).

Baseado no estudo de caso de Rasis, Gitlow e Popovich (2002), a seguir é citado um questionário para melhor definição do projeto 6 Sigma, direcionando para as próximas fases:

- 1)Qual o nome do processo?
- 2)Qual o objetivo deste processo?
- 3)Qual a redução de custo estimado com este projeto?
- 4)Qual a descrição do problema?
- 5)Qual o objetivo deste projeto?
- 6)Quais os limites do projeto?
  - 6a) Quais os limites do processo?
  - 6b) Qual o custo estimado para este projeto?
  - 6c) Quem aprovará as despesas?

6d) Pode-se gastar além do orçado?

6e) Quais os obstáculos deste projeto?

6f) Qual o horário de reuniões da equipe do projeto?

6g) Qual o cronograma deste projeto?

7)Quais são os benefícios do projeto?

8)Quais são as funções e responsabilidades de cada membro da equipe?

### 2.5.2.Fase Medir

A fase medir consiste no estudo dos CTQs, abrangendo ações relacionadas à mensuração do desempenho dos processos e à quantificação da sua variabilidade. Através de consenso entre integrantes da equipe 6 Sigma, são identificadas as “Variáveis Chaves de Entrada do Processo” (*KPIV*) e as “Variáveis Chaves de Saída do Processo” (*KPOV*). São utilizadas as ferramentas básicas, como, por exemplo, as métricas do 6 Sigma, *MSA*, *FMEA* e o Desdobramento da Função Qualidade (*QFD*) (Mastro, 1998).

Nesta fase as principais ações são:

- Identificar as variáveis chaves de entrada do processo(*KPIV*);
- Identificar as variáveis chaves de saída do processo (*KPOV*);
- Implementar plano de coletas de dados;
- Fazer estudo da repetitividade e reprodutividade do instrumento de medição;
- Medir a capacidade do processo;
- Estabelecer metas de redução de defeitos.

#### 2.5.2.1.Fluxograma do Processo

O fluxograma representa graficamente a seqüência de operações constituintes do processo produtivo, e é utilizado para analisar o problema em diversos níveis e sob diferentes aspectos. O estudo global dá diretrizes para ações detalhadas, com integração harmônica e eficiente para que se possa analisar as partes das etapas do

processo, revelando os pontos sujeitos a problemas e então o Controle Estatístico do Processo (CEP) tem uma boa base para determinar os limites necessários (Schmidt, Kiemele e Berdine, 1997).

#### 2.5.2.2.Mapeamento de Processo

Após o fluxograma de processo, foi feito um *brainstorming* com os operadores de vários turnos e dos equipamentos identificados como provável causa especial, a finalidade seria o direcionar o mapeamento do processo e identificação dos variáveis de entrada.. No *brainstorming* foi respeitadas as opiniões de cada participante, não havendo preocupação em correlacionar o raciocínio lógico.

#### 2.5.2.3.Análise de Capabilidade do Processo

Não é sugerido que as organizações utilizem todas as métricas utilizadas no 6 Sigma (Harry 1994a), e sim as de acordo com os tipos de projetos a serem realizados. Algumas organizações calculam seu nível sigma através do DPMO e os converte para o nível sigma considerando o deslocamento e 1,5 sigma (Schmidt e Launsby 1997).

O 6 Sigma utiliza as seguintes nomenclaturas:

- Número de operações do processo =  $m$
- Defeitos =  $D$
- Unidade =  $U$
- Oportunidade por um defeito =  $O$
- Rendimento =  $Y$

As relações básicas são:

- Total de oportunidades:  $TOP = U \times O$
- Defeitos por unidade:  $DPU = D/U$
- Defeitos por uma oportunidade:  $DPO = DPU/O = D/U \times O$  (3.1)
- Defeitos por milhão de oportunidade:  $DPMO = DPO \times 10^6$

Relações de Rendimento do Processo:

- Rendimento de primeira vez:  $Y_{TP} = e^{-DPU}$
- Defeitos por unidade:  $DPU = -\ln(Y)$  (3.2)

- Total de Defeitos por unidade:  $TDPU = \ln(Y_{RT})$
- Rendimento Normalizado:  $Y_{norm} = (Y_{RT})^{1/m}$

Distribuição Normal para Relações de Z

- $Z_{equiv} \approx Z \sim N(0;1)$
- Z "longo prazo":  $Z_{LT} = Z_{equiv}$
- Z "curto prazo" ( $Z_{ST}$ ) =  $Z_{LT} + 1,5$  desvio padrão (3.3)
- Z Benchmark:  $Z_{benchmark} = Z_{Ynorm} + 1,5$

#### 2.5.2.4. Medição do Nível Sigma do Processo

A avaliação da capacidade do processo possibilita às organizações predizerem seus verdadeiros níveis de qualidade para todos os processos e serviços. Isto guia a estimativa inicial do nível sigma de um produto ou processo; assim para determinar a capacidade para uma saída variável, deve-se (Blakeslee, 2000):

1. Verificar a especificação do produto ou processo;
2. Tomar uma amostra (curto prazo ou longo prazo);
3. Calcular o nível z;
4. Deslocar o nível z de 1,5 se apropriado;
5. Converter o nível z no índice desejado (ppm, ou Cp, Cpk, Pp, Ppk).

A transformação "z" converte qualquer distribuição normal (dada uma média amostral e um desvio-padrão amostral) em uma distribuição normal padrão que tem uma média igual a 0 e um desvio-padrão igual a 1. Pode ser medida em unidades de milímetros, polegada, pés, psi, volts, etc., a distribuição transformada terá sempre média = 0 e desvio padrão = 1.

O valor z indica quão longe um número particular de interesse, x, está longe da média da amostra em unidades de desvio-padrão. Por exemplo, se  $z = 2$ , então o particular número de interesse, x, está 2 desvios-padrão longe da média da amostra. Ao predizer-se níveis de defeitos, (ou estimar rendimento), deve-se substituir o limite inferior de especificação (LIE) e o limite superior de especificação (LSE) por x. Assim, pode-se calcular a proporção de produtos fora da especificação baseada na média e desvio-padrão de uma amostra. O escore z é calculado pela seguinte fórmula (Harry, 1998):

$$Z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} = \frac{(x - \bar{x})}{S} \quad (3.4)$$

Em que:

$\mu$  = média do processo

$x$  = média da amostra

$\bar{x}$  = Estimativa da média

$\sigma$  = desvio padrão do processo

$S$  = estimativa do desvio padrão

A figura 3.4 ilustra um processo 6 Sigma centrado (curto prazo).

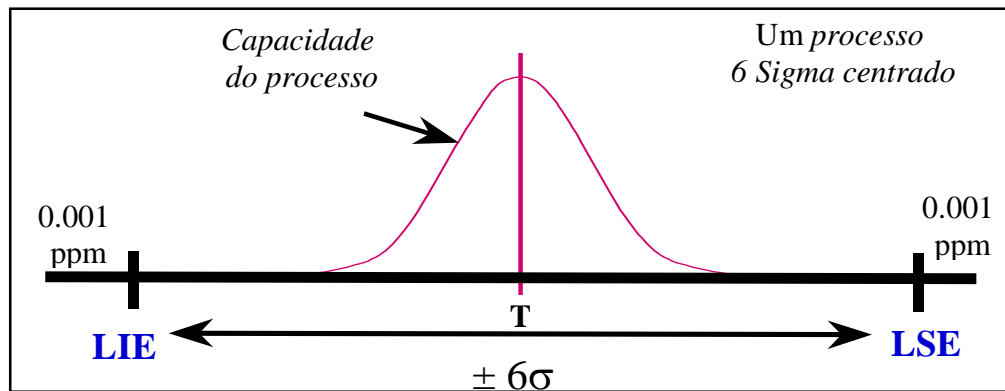


Figura 18 – Processo 6 Sigma Centrado.

Fonte: Breyfogle (1999).

O processo 6 Sigma, a longo prazo, pode ser representado pela figura 3.5:

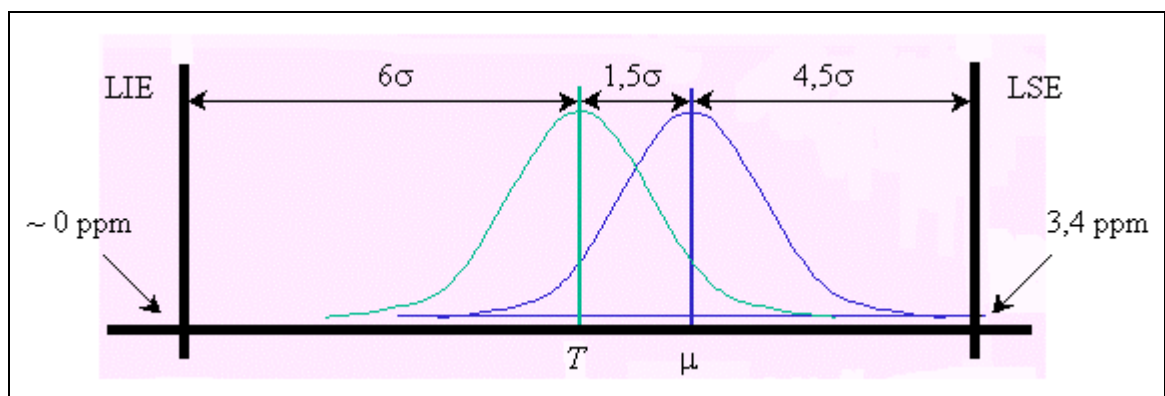


Figura 19 – Processo 6 Sigma a Longo Prazo.

Fonte: Harry (1998).

De acordo com o nível sigma, tem-se determinado o DPMO, assim à medida que

se eleva o nível sigma de um processo, diminui-se o número de defeitos. No entanto, o número de defeitos a curto prazo é menor que a longo prazo, pois há um deslocamento de 1,5 desvios padrão de curto para longo prazo, como pode ser visto na tabela 3.4, que mostra os valores do nível sigma em relação ao processo centralizado (DPMO de curto prazo) e processo descentralizado (DPMO de longo prazo) (Harry, 1998):

Nível Sigma	DPMO de curto prazo	DPMO de longo prazo
1	1 58655,3	691462,5
2	2 2750,1	308537,5
3	1350,0	66807,2
4	31,7	6209,7
5	0,3	232,7
6	0,0	3,4

Tabela 03 – DPMO de Curto e Longo Prazo.

Fonte: Blakeslee, 2000.

O nível sigma resultante descreve o desempenho do processo a longo prazo. Isto inclui todas as causas assinaláveis que impactam na centralização do processo. Por exemplo: turno de produção, operador, máquina, desgaste de ferramenta, programação de manutenção, reparo por quebra, calibração, temperatura, umidade, matéria prima, mudança de requisitos dos clientes, etc. A figura 3.6 ilustra a capacidade a curto e longo prazo.

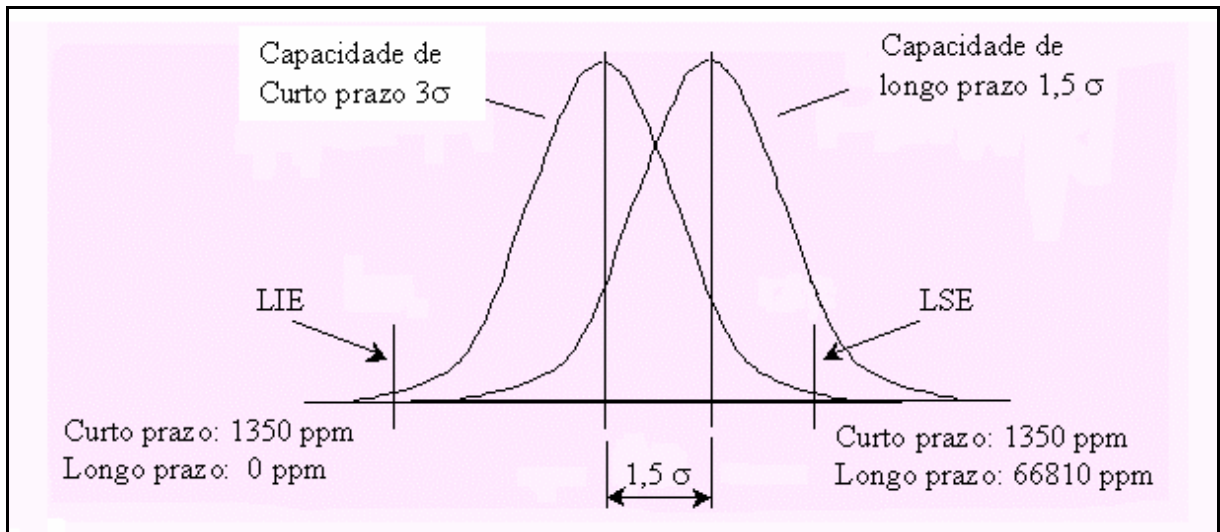


Figura 20 – Capacidade a Curto e Longo Prazo.

Fonte: Harry, 1998.

Assim,  $C_p$  é a capacidade potencial do processo supondo que o mesmo esteja centrado. Esta métrica é também chamada de “titulação de processo” ou o melhor desempenho que se pode esperar do processo a curto prazo. A fim de calcular esta métrica deve-se fazer uma aproximação para o desvio-padrão de curto prazo. Já o  $C_{pk}$  e  $P_{pk}$  usam a média, não somente a faixa de tolerância, para estimar a capacidade. O termo “ $\min(C_{pk}(I), C_{pk}(S))$ ” é posto como a menor distância numérica entre a média e o limite de especificação mais próximo (Hradesk, 1988).

O cálculo do nível sigma foi realizado através da fração de produtos defeituosos:

- número de produtos defeituosos antes da atuação no processo = 0,80%;
- 0,80% = 8.000 ppm.

Consultando a tabela 3.5, que faz a conversão dos defeitos em partes por milhão, considerando o processo a longo a prazo, ou seja deslocado 1,5 sigma, tem-se um processo com número de defeituoso de 8000 ppm, o que equívale a nível sigma de 3,9.

Após o término deste projeto deverá ser calculado o novo nível sigma, assim poderá acompanhar como está o processo em reação à excelência ou seja nível 6 Sigma.



<b>Nível Sigma Longo</b>	<b>Defeitos ppm:1.5 Sigma</b>	<b>Nível Sigma Longo</b>	<b>Defeitos ppm:1.5 Sigma</b>	<b>Nível Sigma Longo</b>	<b>Defeitos ppm:1.5 Sigma</b>
1	697672.15	2.7	115083.09	4.4	1865.88
1.1	660082.92	2.8	96809.10	4.5	1349.97
1.2	621378.38	2.9	80762.13	4.6	967.67
1.3	581814.88	3	66810.63	4.7	687.20
1.4	541693.78	3.1	54801.40	4.8	483.48
1.5	501349.97	3.2	44566.73	4.9	336.98
1.6	461139.78	3.3	35931.06	5	232.67
1.7	421427.51	3.4	28716.97	5.1	159.15
1.8	382572.13	3.5	22750.35	5.2	107.83
1.9	344915.28	3.6	17864.53	5.3	72.37
2	308770.21	3.7	13903.50	5.4	48.12
2.1	274412.21	3.8	1074.14	5.5	31.69
2.2	242071.41	3.9	8197.56	5.6	20.67
2.3	211927.71	4	6209.70	5.7	13.35
2.4	184108.21	4.1	4661.23	5.8	8.55
2.5	158686.95	4.2	3467.03	5.9	5.42
2.6	135686.77	4.3	2555.19	6	3.40

Tabela 04 – Conversão de ppm para Nível Sigma.

Fonte: Breyfogle, 1999.

#### 2.5.2.5.Desdobramento da Função Qualidade

A matriz QFD é simples para enfatizar a importância de se entender os requisitos do cliente. É usada para relacionar e priorizar X's e Y's do cliente através de ordenação numérica, usando como fonte primária, o mapa do processo. Os Y's são avaliados pela importância para o cliente e os X's pelo relacionamento com as saídas. O resultado é o *Pareto* dos X's que podem ser usados como ponto de partida na avaliação do FMEA e plano e controle (Carvalho, 1997).

É importante observar que as variáveis selecionadas pela matriz causa e efeito não são a resposta final para priorizar a atuação no processo. É preciso analisá-las primeiramente através da planilha do FMEA.

#### 2.5.2.6.Análise do Modo e dos Efeitos de Falha

O FMEA é uma ferramenta para analisar e priorizar as falhas, que providencia uma estrutura para a análise da causa e efeito, esta ferramenta requer um time experiente que saiba quantificar o relacionamento dos modos de falhas, efeitos,

causas, controles atuais, e recomendações atuais. Lutz e Woodhouse (apud Signor, 2000), definiram o modo falha como física ou manifestação funcional da falha. No projeto 6 Sigma, o FMEA tem os seguintes benefícios:

- Melhoramento do produto em termos de funcionalidade e robustez;
- Redução de custos;
- Redução gradativa dos problemas de manufatura;
- Melhoramento na segurança dos produtos e implementação dos processos;
- Redução de problemas de venda.

Durante o desenvolvimento do FMEA também é importante a participação de um grupo de pessoas treinadas, que entrará com a experiência e conhecimento do processo para montagem e estruturação da ferramenta. É necessário identificar maneiras pelas quais o produto ou processo pode falhar e eliminar ou reduzir o risco de falha a fim de proteger o cliente, em resumo o FMEA pode capturar o processo inteiro e identificar as maneiras pelas quais o produto ou processo pode falhar, facilitando a documentação de um plano para prevenir estas falhas. Conforme descreveu Breyfogle (1999) e Signor (2000), existem diferentes conceitos importantes entre FMEA de Produto e de Processo:

- FMEA de Produto** – Usado para analisar projetos de produto antes deles serem liberados para a produção;
- FMEA de Processo** – Usado para analisar fabricação, montagem ou qualquer outro processo. Focado nas entradas do processo.

A terminologia seguida pelo manual de FMEA do *Automotive Industry Action Group* (AIAG, 1995 c), são:

- Modo de Falha:** Uma descrição de uma “não-conformidade” em uma particular etapa do processo (também conhecido como um defeito do chão da fábrica).
- Efeito da Falha:** O efeito que um modo de falha particular terá no cliente (tentar quantificar em relação aos Y's).

- **Severidade (do efeito da falha, escala de 1 a 10):** Uma avaliação da seriedade do efeito da falha no cliente. O cliente pode ser o cliente final e/ou a operação seguinte do processo.
- **Causa da falha:** Algo que pode ser corrigido ou controlado (X) que descreve “como o modo de falha pode ter ocorrido”.
- **Ocorrência (da causa da falha, escala de 1 a 10):** Uma avaliação da frequência com que a causa da falha ocorre. “Com que frequência este X falha de uma maneira específica”?
- **Detecção (da causa da falha ou modo de falha, escala de 1 a 10):** Uma avaliação da chance (ou probabilidade) de que seus controles atuais vão detectar quando o X falha ou quando o modo de falha ocorre.
- **RPN (Número de Prioridade de Risco):** Severidade x Ocorrência x Detecção – Usado para priorizar ações recomendadas. Consideração especial deve ser dada a altas taxas de Severidade mesmo se Ocorrência e Detecção forem baixas.

#### 2.5.2.7. Avaliação do Sistema de Medição

As organizações têm observado constantemente o impacto de não terem qualidade em seus sistemas de medição. Muitas organizações que avaliam suas medições nem sempre podem estar exatas e se precipitam em muitas conclusões a respeito de seus processos. Segundo Deming (1986),

*“o que se registra ao final de uma determinada operação de medição, é o último produto de uma longa série de operações, desde a matéria prima até a operação de medição propriamente dita. A medição é, pois, a parte final deste processo. Assim, do mesmo modo como é vital controlar estatisticamente o processo de medição; caso contrário, não há medida que tenha significado comunicável.”*

As decisões envolvidas no gerenciamento dos processos produtivos de uma empresa são baseadas em dados, muitas vezes resultantes da realização de medições. No entanto, é importante observar que a obtenção das medidas de alguma variável ou característica de interesse associada a um processo de produção

de bens ou de fornecimento de serviços, também se constitui em um processo, estando sujeita à atuação de diversas fontes de variação (WERKEMA, 2000). No processo de medição, as características da qualidade da peça, são as possíveis fontes de variação envolvidas em cada etapa do processo de medição. Pode-se dizer que os principais fatores responsáveis pela variabilidade associada aos processos de medição são:

- Desgaste de componentes do instrumento de medição;
- Posição em que o item a ser medido é colocado no aparelho;
- Condições ambientais;
- Emprego de procedimentos de medição inadequados;
- Falta de calibração do aparelho de medição.

Para verificar se um sistema de medição é aceitável, são avaliadas a repetitividade e a reprodutividade:

• *Repetitividade* – é a variabilidade inerente do dispositivo de medição, isto é, a variação nas medidas obtidas quando um operador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes as características de interesse dos mesmos itens, é estimada pelo desvio-padrão agrupado (médio) da distribuição de medições repetidas (AIAG, 1995a). A repetitividade é geralmente menor que a variação total do sistema de medição. Também conhecida como erro de teste-reteste; usado como estimativa da variação da medição de curto prazo. A variação que ocorre quando são feitas medições repetidas da mesma variável sob condições semelhantes.

• *Reprodutividade* – é a diferença na média das medições feitas por diversas pessoas usando o mesmo ou instrumentos variados para medir característica idêntica na mesma peça; é estimada pelo desvio-padrão das médias das medições sob condições diferentes de medição (AIAG, 1995a). A reprodutividade de um instrumento de medição é a variação que resulta quando condições diferentes são usadas para fazer as mesmas medições. A variação média das

medidas obtidas quando diferentes operadores utilizam o instrumento para medir repetidas vezes a característica de interesse dos mesmos.

As etapas realizadas no estudo de avaliação do instrumento de medição para avaliar o sistema de medição é utilizado, são (WERKEMA, 2000):

• **Variância do Sistema de Medição** – Saída primária do *R&R* analítico para determinar se o sistema de medição é adequado para uma certa aplicação, é necessário comparar a variação da medição com a variação do produto/processo. A variabilidade total presente em um conjunto de dados gerados por um processo produtivo e medida por meio de algum instrumento de medição pode ser dividida em duas parcelas (AIAG, 1995a):

- Variabilidade inerente ao processo produtivo.
- Variabilidade (precisão) inerente ao instrumento e medição.

Sendo:

$\sigma^2_{total}$  = variância total calculada para o conjunto de dados;

$\sigma^2_{pp}$  = variância devida ao processo produtivo;

$\sigma^2_{im}$  = variância devida ao instrumento de medição.

$$\text{Assim: } \sigma^2_{total} = \sigma^2_{pp} + \sigma^2_{im} \quad (3.5)$$

• **Comparação da Repetitividade com a Tolerância (P/T)** – A relação P/T é a estimativa mais comum da precisão do sistema de medição. Esta estimativa é apropriada para avaliar quão bem o sistema de medição pode atuar em relação à especificação. Especificações entretanto, podem ser muito apertadas ou muito folgadas. Geralmente, a relação P/T é uma boa estimativa quando o sistema de medição é usado somente para classificar amostras de produção, mesmo se a capacidade do processo (*C<sub>pk</sub>*) não for adequada, a relação P/T pode dar uma falsa sensação de segurança.

• **Comparação da reprodutividade com a Variação do Produto/Processo (P/VT):** A relação P/VT (%R&R) é a melhor medida para MSA. Ela estima quão bem o sistema de medição atua em relação à variação global do processo. A porcentagem de R&R é a melhor estimativa-se ao desenvolver estudos de melhoria do processo.

As diretrizes da AIAG (1995a) para variação de medição (baseado no desvio-padrão) em comparação com a variação total são dadas como porcentagem da Tolerância:

- Ideal: 10% ou menos;
- Aceitável: 10-20% e
- Marginal: 20-30% (depende da aplicação).

### 2.5.3.Fase Analisar

Nesta fase são identificados os efeitos das variáveis X's nos CTQs, analisados os dados relativos aos processos estudados, com objetivo principal de se conhecer as relações causais e as de fontes de variabilidade e desempenho insatisfatório de tais processos, visando à melhoria destes. Explorando toda a metodologia, pode ser utilizadas as seguintes ferramentas (Hoerl, 2001):

- Análise de Mult-Vari;
- Intervalo de Confiança;
- Teorema do Limite Central;
- Correlação e Regressão;
- Teste de Hipótese e
- Análise Variância (ANOVA).

#### 2.5.3.1.Análise de Correlação

A correlação é uma medida da relação entre duas ou mais variáveis. O tipo mais usado de coeficiente de correlação é o de Pearson ( $r$ ), chamado também de correlação linear ou do produto do momento. As escalas das medidas usadas devem ser as mesmas escalas do intervalo, mas outros coeficientes de correlação estão disponíveis para assegurar outros tipos de dados. Os coeficientes de correlação podem variar de -1,00 a +1,00. O valor de -1,00 representa uma correlação negativa perfeita enquanto que um valor de +1,00 representa uma correlação positiva perfeita. Um valor de 0,00 representa uma ausência da correlação (Kendall e Gibbons, 1990).

O coeficiente de correlação é uma medida do grau de relacionamento linear entre duas variáveis. Pode-se obter um *p-value* para testar se há uma evidência suficiente que o coeficiente de correlação não seja zero. Um coeficiente de correlação parcial é o coeficiente de correlação entre duas variáveis ao tender para os efeitos de outras variáveis.

Para as duas variáveis  $x$  e  $y$ , onde o  $s_x$  é o desvio médio padrão das amostras para a primeira amostra, e  $s_y$  é o desvio médio padrão da amostra para a segunda amostra, a correlação é dada pela seguinte equação (Kendall e Gibbons, 1990):

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n - 1)s_x s_y}$$

(3.6)

### 2.5.3.2. Regressão Múltipla

A finalidade geral da regressão múltipla (o termo foi usado primeiramente por Pearson, 1908) é descobrir mais sobre o relacionamento entre as diversas variáveis independentes e uma variável dependente, ou do critério que as mesmas estão relacionadas entre si. A equação da regressão é linear em um espaço bidimensional, sendo por (Kahane, 2001):

$$y = a + b.x; \tag{3.7}$$

Onde:

- A variável de  $y$  pode ser expressada nos termos de uma ( $a$ ) constante e uma inclinação ( $b$ ) cronômetra a variável de  $x$ ;
- A constante é consultada também como a intersecção, e a inclinação como ao coeficiente da regressão ou ao coeficiente de  $b$ .

No caso da regressão múltipla, quando há mais do que uma variável independente, a linha de regressão não pode ser visualizada no espaço bidimensional, mas pode ser computada facilmente. Em geral, os procedimentos da regressão múltipla estimarão uma equação linear da seguinte forma (Miles e Shevlin, 2001):

$$y = a + b_1.X_1 + b_2.X_2 + \dots + b_p.X_p \tag{3.8}$$

Nesta equação, os coeficientes da regressão (ou os coeficientes de  $b$ )

representam as contribuições independentes de cada variável independente à predição da variável dependente. A correlação também pode ser expressa com a variável  $x_1$  correlacionado com a variável  $y$ , após controlar para todas variáveis independentes restantes. Este tipo de correlação é consultado também como a uma correlação parcial (Kahane, 2001).

### 2.5.3.3. Análise de Variância

A análise de variância (ANOVA) é usada para descobrir os efeitos principais e as interações das variáveis independentes ( $X$ 's) e uma variável dependente do intervalo ( $Y$ ). A versão (GLM) modelo linear geral de ANOVA suporta também um número maior de variáveis dependentes ( $Y$ 's). Um efeito principal é o efeito direto de uma variável independente na variável dependente. Um efeito de interação é o efeito comum a duas ou mais variáveis independentes na variável dependente (Turner e Thayer, 2001).

A ANOVA é similar à regressão que é usada para investigar e modelar o relacionamento entre uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes. Entretanto, este método difere da regressão em duas maneiras: as variáveis independentes são qualitativas, e nenhuma suposição é feita sobre a natureza do relacionamento (isto é, o modelo não inclui coeficientes para variáveis). De fato, a ANOVA estende o teste  $t$  de duas amostras para testar a igualdade de duas médias da população a uma hipótese nula mais geral de comparar a igualdade de mais de duas médias. Diversos procedimentos de ANOVA permitem modelos com variáveis qualitativas e quantitativas. As potencialidades incluem procedimentos e modelos com dados coletados de um número de projetos diferentes para testar variações iguais e gráficos de efeitos e de interações principais (Cole, Maxwell, Arvey e Salas, 1993). Os principais tipos de ANOVA são:

- **ANOVA de Fator Único** – Testa diferenças em uma variável dependente ( $Y$ ) do único intervalo entre dois, três, ou mais grupos dados pelas categorias de uma única variável independente ( $X$ 's). Testa se os grupos que deram forma pelas categorias da variável independente se parecem similares (especificamente esse tem o mesmo teste padrão da dispersão que medido comparando estimativas de variações do grupo). Se os grupos parecerem diferentes, então se conclui que a variável independente tem um efeito na variável dependente.



Há três possibilidades de soma de quadrados: soma dos quadrado entre grupos ( $SS_A$ ), dentro do grupo ou soma do erro dos quadrados ( $SS_{s/A}$ ) e soma total dos quadrados ( $SS_T$ ). A soma total dos quadrados pode ser dividida entre a soma dos quadrados e dentro da soma dos quadrados, representando a variação devido diferenças individuais na contagem respectivamente (Jackson e Brashers, 1994):

$$SS_T = SS_A + SS_{s/A} \quad (3.9)$$

A soma entre grupos dos quadrados examina as diferenças entre as médias do grupo, calculando a variação de cada média em torno da média maior.

$$SS_A = \sum s (\bar{Y}_A - \bar{Y}_T)^2 \quad (3.10)$$

onde,  $s$  é o número de observações em cada grupo (célula ou fator de nível  $A$ ).

A soma de dentro dos grupos dos quadrados verifica a variação do erro ou a variação de contagens individuais em torno de cada média do grupo. Esta é a variação nas contagens não é devido ao tratamento (ou à variável independente):

$$SS_{s/A} = \sum \sum (Y - \bar{Y}_A)^2 \quad (3.11)$$

A soma total dos quadrados pode ser calculada adicionando-se o  $SS_A$  e o  $SS_{s/A}$ . Cada  $SS$  têm um grau de liberdade diferente associado com  $df_A = a - 1$ ,  $df_{s/A} = n - a$ , e  $df_T = n - 1$  iguais ao número dos grupos (ou dos níveis da variável independente), e de  $n$  é o número total das observações no estudo.

Os quadrados médios são computados dividindo os  $SS$  pelo  $df$ . Este é calculado pela variação da amostra que divide a soma dos quadrados por graus de liberdade. Na fórmula,  $MS_T = \hat{\sigma}^2$ . Na relação de  $F$  é calculada uma relação da variação entre os grupos e dentro dos grupos:

$$F = \frac{MS_A}{MS_{s/A}} \quad (3.12)$$

• **ANOVA de Dois Fatores** – Analisa uma variável dependente do intervalo (Y) em relação a duas variáveis independentes (X's). Este método testa se os grupos formados pelas categorias das variáveis independentes tem centróide similares. Este tipo de análise é menos sensível do que ANOVA de fator único, pois detecta as violações moderadas da suposição da homogeneidade das variações através dos grupos (Girden, 1992).

• **ANOVA Fatorial** – Este tipo de ANOVA incorporam as variáveis independentes de n. fatores. Deve-se notar que enquanto o número de variáveis independentes aumenta, o número de interações potenciais prolifera. Duas variáveis independentes têm uma única interação de primeira ordem (AB). Três variáveis independentes tem três primeiras interações da ordem (AB, AC, BC) e uma interação de Segunda ordem (ABC), ou 04 no total. Quatro variáveis independentes tem seis primeiras ordem (AB, AC, BC, BC), três segunda ordem (ABC, ACD, BCD), e uma interação (ABCD) terceira ordem, ou 10 no total. Enquanto o número das interações aumenta, torna-se cada vez mais difícil interpretar o modelo. Assim um projeto fatorial completo com 2 variáveis dependentes A e B cada um do predicator com 2 níveis cada um seria chamado um projeto 2 x 2 fatorial completo. Usando a codificação, a matriz de X para esta análise será (Cortina e Nouri, 2000):

$$\mathbf{X} = \begin{matrix} & X_0 & X_1 & X_2 & X_3 \\ \begin{matrix} A_1B_1 \\ A_1B_2 \\ A_2B_1 \\ A_2B_2 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.13)$$

Nota-se que  $X_1$  e as colunas  $X_2$  representam os contrastes principais do efeito para uma variável, (isto é, A e B, respectivamente). A coluna  $X_3$  representa um contraste entre combinações diferentes dos níveis A e B. Nota-se também de que os valores para  $X_3$  são produtos dos valores correspondentes para  $X_1$  e variáveis do produto de  $X_2$ , tais como  $X_3$  representa os efeitos multiplicados ou da interação de seus fatores, assim que  $X_3$  estaria representando a interação de dois sentidos de A e relacionamento de B, que indicam as influências interativas dos fatores nas

respostas (isto é, influências independentes do efeito principal). Assim, os projetos fatoriais fornecem mais informação sobre os relacionamentos entre variáveis dependentes do que os correspondentes projetos de fator único ou de efeitos principais (Girden, 1992). Neste trabalho utilizou-se a análise de variância na fase *Improve* do *DMAIC*, onde através do *software* Estatístico *Minitab* calculou-se o nível descritivo (*p-value*), onde:

- Notação:  $\hat{\alpha}$  = nível descritivo, onde  $p (F > F_0) = \hat{\alpha}$ .
- Valores “pequenos” de *p – value* → indicam rejeição da hipótese nula.
- Valores “ grandes” de *p – value* → indicam aceitação da hipótese nula.

#### 2.5.3.4. Análise Multi-Vari

- Multi-vari é uma ferramenta gráfica que através de agrupamentos lógicos, analisa os dados históricos do processo de produção para identificar correlação entre as múltiplas fontes de variações, que impactam nas variáveis de saída, estas se classificam em (BREYFOGLE, 1999):

- Posicionais** – variação dentro da peça;
- Cíclicas** – variação de peça a peça consecutivas;
- Temporais** – turno, dia, semana, etc...

#### 2.5.4. Fase Melhorar

A fase otimizar consiste fundamentalmente em descobrir as relações entre os CTQs e as variáveis X's “pouco vitais”, para tal desenvolve -se DOE, com objetivo de se conhecer a fundo cada processo, através da mudança estrutural de níveis de operação de diversos fatores simultaneamente do processo em estudo. A informação obtida com o DOE auxilia a identificar o ajuste das variáveis-chaves para modificar e otimizar o processo.

##### 2.5.4.1. Projetos de Experimentos

Sir Ronald A. Fisher, cientista britânico, foi o inovador no uso dos métodos estatísticos e da análise de dados no *Rothamsted Agricultural Experiment Station*, de Londres, em 1920. Fisher desenvolveu o primeiro uso da análise e variância, assim

como os primeiros métodos de estatística no DOE. Em 1933, Fisher levou seu trabalho para a Universidade de Londres. Além da contribuição de Fisher, houve muitas outras para a literatura DOE, incluindo-se as de F. Yates, R.C. Bose, W. G. Cochran, R. H. Myers, J. S. Hunter, e G. E. P. Box (MOTGOMERY, 1997).

O método DOE foi aplicado na agricultura e na ciência biológica, tendo alcançado enorme sucesso. A primeira aplicação prática ocorreu em 1930, na *British Textile* (Schmidt e Case, 2001). Depois da Segunda Guerra mundial, o método foi introduzido na indústria química e em outros processos industriais de empresas nos Estados Unidos e Europa. Recentemente, os métodos são largamente utilizados em pesquisas e *set up* industriais, às vezes por diferentes propósitos. Na indústria, o objetivo principal é extrair o máximo de informação para determinar quais fatores afetam o processo produtivo; similarmente na aplicação científica, onde as técnicas de análise de variância e regressão são usadas para determinar se existe significância entre as variáveis de entrada no processo sobre as variáveis de saída, com intuito de descobrir possíveis correlações entre os fatores pesquisados, e assim determinar a origem de diferentes mudanças no processo, ou seja, as causas especiais de variação do processo (HALBLEIB e CROWDER, 2001).

Box (1960) disse que é praticamente impossível achar o que está acontecendo a um sistema quando simultaneamente se está interferindo no mesmo. Através do DOE é possível detectar as causas especiais por ser uma técnica que promove a interação das variáveis de entrada para analisar os efeitos sobre as variáveis de saída. O DOE não apenas revela o rendimento e a significância dos testes do nível de fator, mas também fornece um modelo de resposta. Estes experimentos podem ser combinados, segundo todas as variáveis (fatorial completo) ou com as combinações parciais (fatorial fracionário). KOSELKA (1996) listou várias aplicações com resultados positivos obtidos através do DOE:

- Redução de defeitos em uma sensível escala computacional de 25% para menos de 1% dentro de um mês;
- Manutenção da qualidade de uma usina de papel com menor custo de madeira;
- Redução nos riscos de erros de medicamentos errados para os pacientes num hospital, implantando a padronização de procedimentos, com técnicas à prova de erro;

- Impacto nas vendas de calçados com utilização do arranjo de cores para impressionar os clientes;
- Redução de defeitos de impregnação de carbono nos carimbos de uretane em 85 %.
- Redução nos erros de ordens de serviço;
- Aumento da vida útil de um rolamento em até cinco vezes.

A utilização do DOE na investigação das causas especiais de variação do processo, tem por consequência o desenvolvimento de um processo robusto, pois elimina o método de tentativa e erro. A figura 3.9 ilustra as variáveis de um processo (Montgomery, 1997):

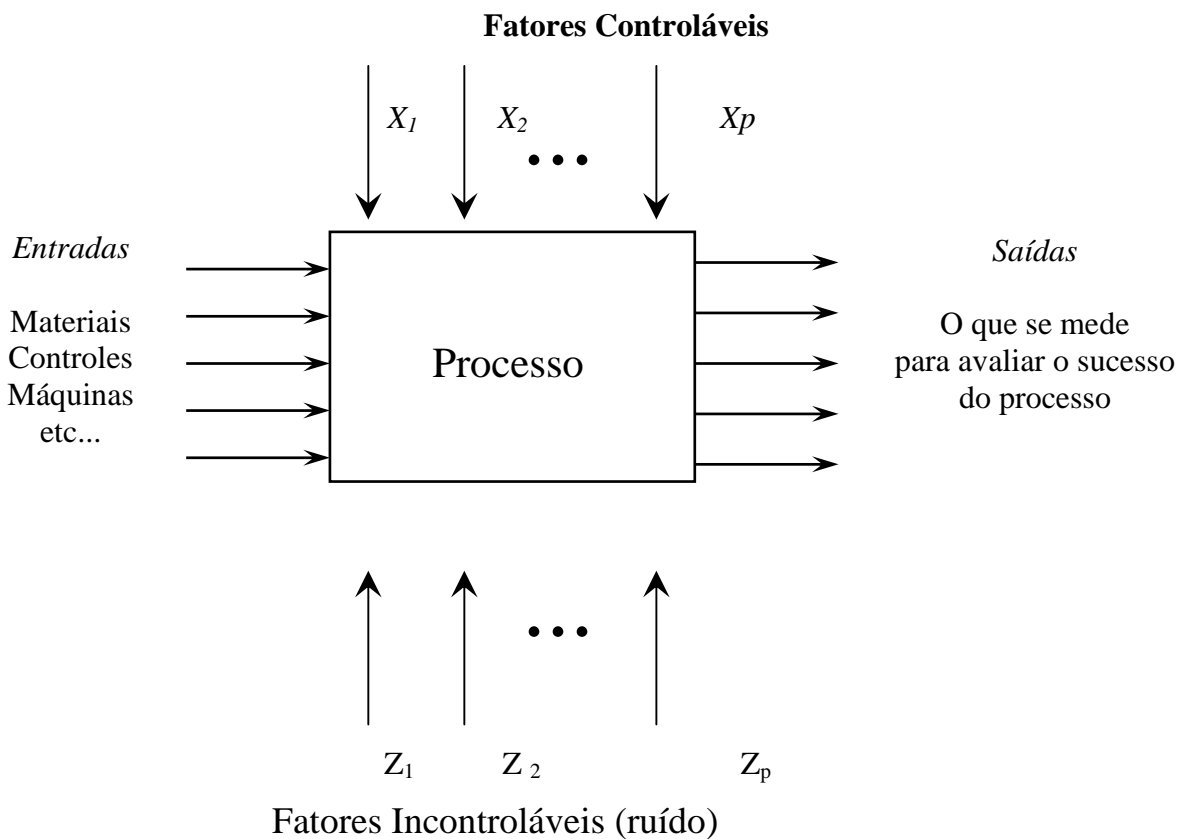


Figura 21 – Modelo Genérico de um Processo ou Sistema.

Fonte: Montgomery (1997).

A definição da função de transferência do DOE pode ser descrita assim:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad (3.14)$$

onde:

$y$  = variável dependente do experimento ou saída do processo;

$x_i$  = variáveis independentes ou entrada do processo;

$f$  = função matemática gerada para cada variável resposta.

Esta função matemática determina que os efeitos das variáveis incontroláveis ( $Z_1, Z_2 \dots Z_p$ ) sejam minimizados.

A RSM transformou-se em uma ferramenta importante no processo e no desenvolvimento de produtos, esta metodologia consiste em técnicas matemáticas e estatísticas de otimização, que são usadas para melhorar e desenvolver processos. Em ambas situações, a metodologia pode ser usada para obter parâmetros de processos otimizados que resultam em um melhor produto final. As aplicações da RSM podem ser encontradas em muitos ajustes industriais onde diversas variáveis influenciam no resultado desejado (Borrer e Montgomery, 2000).

Segundo Breyfogle (1999), a RSM tem uma grande vantagem, pois podem ser utilizados vários fatores para analisar vários problemas com poucos ensaios. Isto sem dúvida viabiliza os experimentos no processo industrial, pois os *set up* tem custo elevado.

#### 2.5.4.2.RSM – Pontos Centrais Compostos

A equação linear para dois fatores com efeito principal, sem considerar as interações, pode ser escrita da seguinte forma:

$$y=b_0+b_1 x_1+b_2x_2 \quad (3.15)$$

Onde  $y$  é a resposta,  $b_0$  é a intersecção axial, e  $(b_1,b_2)$  são coeficientes dos fatores. O balanceamento do experimento é feito por dois fatores que são considerados por  $x_1$  e  $x_2$ , respectivamente pela equação  $-1$  e  $+1$ , sendo que os coeficientes  $b_1$  e  $b_2$  são equivalentes à metade dos efeitos de  $b_0$ , e é a medida para todas as respostas. Para se ter a resposta, os programas computacionais utilizam as técnicas de análise de regressão (Piepel, 1988).

Quando são consideradas as interações, a equação tem a seguinte forma:

$$y=b_0+b_1 x_1+b_2x_2 + \dots +b_k x_k +\varepsilon \quad (3.16)$$

O número de termos na equação descreve o número mínimo de ensaios necessários para determinar o modelo, sendo  $\varepsilon$  o erro observado na resposta. Pontos centrais podem ser adicionados para dois níveis de fatorial fracionário designado para determinar o modelo linear assumido. Quando usado o programa e a regressão nos efeitos, os níveis de fatorial fracionário devem assumir uma simetria de valor ao redor de zero. Para determinar se a linearidade assumida é válida, a resposta média dos pontos centrais pode ser comparada com a medida média das tentativas de experimento com fatorial fracionado de dois níveis (CORNELL,1981).

#### 2.5.4.3.RSM – Box-Behnken

Box e Behnken (1960) descreveram uma classe de projetos de experimentos fatoriais incompletos de nível 3 para a estimativa de coeficientes em um polinômio de segundo grau. Estes projetos satisfazem aproximadamente o critério de rotatibilidade e, em sua maioria, podem ser bloqueados ortogonalmente.

No desenvolvimento de projetos Box-Behnken, delimita-se as variáveis para gerar projetos rotatórios de segunda ordem.. Supondo-se que a codificação dos níveis seja feita em unidades padronizadas, de forma que os 3 valores alcançados por cada uma das variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_k$  sejam  $-1, 0$  e  $1$ , e supondo também que o polinômio graduado de segundo grau providenciado pelo método dos menores quadrados é:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_k b_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i}^k b_{ij} x_i x_j \quad (3.24)$$

Um planejamento rotativo de segunda ordem é tal que a variação de  $\hat{y}$  é constante para todos os pontos equidistantes do centro do projeto — ou seja, para todos os pontos para os quais  $\square = \sum_i (x_i^2)^{1/2}$  seja constante. Dentre a classe de projetos rotativos, seleciona-se aqueles para os quais a variação de  $\hat{y}$ , (função de  $\square$ , é razoavelmente constante na região do espaço- $k$  coberta pelo experimento. A exigência de rotatibilidade é introduzida para assegurar uma geração simétrica de

informação no espaço das variáveis definidas e graduadas, até certo ponto correntemente pensadas de modo mais apropriado pelo experimentador.

Os projetos Box-Behnken são formados pela combinação de projetos fatoriais de 2 níveis com projetos de blocos incompletos de uma maneira particular. Isso é ilustrado na figura 3.13, onde é mostrado um projeto de blocos incompletos balanceados para o ensaio dos variáveis  $k = 4$  em blocos  $b = 6$  de tamanho  $s = 2$ .

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1	*	*		
2			*	*
3	*			*
4		*	*	
5		*		*
6	*		*	

Figura 22 – Projeto de Blocos Incompletos Balanceados para 4 Variáveis em 6 Blocos.

Fonte: Box-Behnken (1960).

Os dois asteriscos em todas as linhas do projeto de blocos incompletos são substituídos pelas colunas  $s = 2$  do projeto de nível  $2^2$ . No lugar onde não tem asterisco, deve-se substituir por zero. O projeto é completado pela adição de um número de pontos centrais  $(0, 0, 0, 0)$ , sendo desejável essa combinação.

Na tabela 3.16, são mostrados vários números de projetos Box-Behnken como apropriados para a pesquisa de 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, e 16 variáveis. Nessa tabela, exceto se indicado de outra forma, o símbolo  $(\pm 1, \pm 1, \dots, \pm 1)$  quer dizer que todas as combinações de mais e menos níveis podem ser ensaiadas. Sempre que um fatorial obtido não confundir os principais efeitos e duas interações de fator uns com os outros, ele pode ser usado em substituição ao fatorial inteiro. Por exemplo, no projeto número 8,  $s$  é equivalente a cinco e, como indicado na tabela, ao invés de usar um fatorial inteiro  $2^5$ , para estes pode-se alcançar o resultado desejável com  $\frac{1}{2}$  replicação.



N.º do Planejamento	Número de Variáveis	Matriz do Planejamento	N.º de Ensaio	Blocos e Esquema de Associação
1	3	$\begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\left. \begin{array}{r} 12 \\ 3 \\ \hline N = 15 \end{array} \right\}$	Blocagem não ortogonal. BIB (uma classe associada).
2	4	$\begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\left. \begin{array}{r} 8 \\ 1 \\ \hline 8 \\ 1 \\ \hline 8 \\ 1 \\ \hline N = 27 \end{array} \right\}$	3 blocos de 9. BIB (uma Classe associada).
3	5	$\begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\left. \begin{array}{r} 20 \\ 3 \\ \hline 20 \\ 3 \\ \hline N = 46 \end{array} \right\}$	2 blocos de 23. BIB (uma classe associada).
4	6	$\begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\left. \begin{array}{r} 48 \\ 6 \\ \hline N = 54 \end{array} \right\}$	2 blocos de 27. 1ª Associação: (1, 4); (2, 5); (3, 6).
5	7	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\left. \begin{array}{r} 56 \\ 6 \\ \hline N = 62 \end{array} \right\}$	2 blocos de 31. BIB (uma classe associada)

<b>6</b>	<b>9</b>	$\begin{bmatrix} \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	} 24 2	(a)5 blocos de 26.  (b)10 blocos de 13.  1 <sup>a</sup> associação: (1, 4); (1, 7); (4, 7); (2, 5); (28); (5, 8); (3, 6); (3, 9); (3, 9).
		$\begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	} 24 2	
		$\begin{bmatrix} \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	} 24 2	
		$\begin{bmatrix} \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	} 24 2	
		$\begin{bmatrix} \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	} 24 2	
			<b>N = 130</b>	

Tabela 05 – Planejamentos de Experimentos de 3 Níveis.

N.º do Planejamento	Número de Variáveis	Matriz do Planejamento	N.º de Ensaios	Blocos e Esquema de Associação
<b>7</b>	<b>10</b>	$\begin{bmatrix} 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	} 160  10 <b>N = 170</b>	2 blocos de 85. 2 <sup>o</sup> Associação: (1, 8); (1, 9); (1, 10); (2, 6); (2, 7); (2, 10); (2, 5); (3, 7); (3, 9); (4, 5); (4, 6); (4, 8); (5, 10); (6, 9); (7, 8).
<b>8</b>	<b>11</b>	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	} 176  12 <b>N = 188</b>	2 <sup>5</sup> fracionado em $X_1 X_2 X_3 X_4 X_5$ .  Blocagem não ortogonal.  BIB (uma classe associada).

<p style="text-align: center;"><b>9</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>12</b></p>	$\begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	<p style="text-align: right;">192 <hr/>12 N = 204</p>	<p>2 blocos de 102.  1ª Associação: : (1, 7); (2, 8); (3, 9); (4, 10); (5, 11); (6, 12).</p>
<p style="text-align: center;"><b>10</b></p>	<p style="text-align: center;"><b>16</b></p>	$\begin{bmatrix} \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \hline 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \\ \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	<p style="text-align: right;">64 2 <hr/>64 2 <hr/>64 2 <hr/>64 2 <hr/>64 2 <hr/>64 2 N = 396</p>	<p>(a)6 blocos de 66. (b)12 blocos de 33.  1ª Associação: : (1, 5); (1, 9); (1, 13); (5, 9); (5, 13); (9, 13); (2, 6); (2, 10), 2, 14); (6, 10); (6, 14); (10, 14); (3, 7); (3, 11); (3, 15); (7, 11); (7, 15); (11, 15); (4, 8); (4, 12); (4, 16); (8, 12); (8, 16); (12, 16).</p>

Tabela 06 – Planejamentos de Experimentos de 3 Níveis

Fonte: Box e Behnken (1960)- Continuação.

Alguns projetos Box-Behnken são ensaiados em blocos, e para este, é desejável realizar bloqueamento ortogonal, ou seja, combinar de forma que os contrastes sejam não-correlativos com todas as estimativas dos coeficientes no polinômio. Se isso puder ser alcançado, a análise poderá ser executada quase como se diferenças de blocos não existissem. A única modificação necessária é que, na

análise de variância, a soma de quadrados associados com diferenças de blocos precisa ser subtraída da soma residual de quadrados. Assumindo-se que o modelo seja adequado, a soma residual de quadrados assim ajustada pode então ser usada para estimar a variação dentro-do-bloco e conseqüentemente os desvios padrão dos coeficientes. Aplicando estes conceitos pode-se notar que:

- 1) Onde os “conjuntos de replicação” puderem ser encontrados na geração do projetos de blocos incompletos, estes produzirão uma base para o bloqueamento ortogonal. Estes conjuntos de replicação são subgrupos dentro dos quais cada variedade é testada o mesmo número de vezes.
- 2) Onde os projetos fatoriais componentes puderem ser divididos em blocos que apenas confundam interações com número maior que dois fatores, estes podem dar uma base para o bloqueamento ortogonal.

As linhas pontilhadas (tabela 3.16) indicam as divisões apropriadas em conjuntos de replicação. Usando estas divisões, o projeto número 2 pode ser dividido em 3 blocos, o projeto número 3, em 2 blocos, o projeto número 6, em 5 blocos e o projeto número 10 em 6 blocos. Nestes esquemas de bloqueamento os pontos centrais precisam ser distribuídos igualmente no meio dos blocos para reter a ortogonalidade.

O segundo método pode ser ilustrado com o projeto número 4, para o qual o primeiro método não pode ser empregado. A base para o projeto consiste em 48 ensaios gerados a partir de 6 projetos fatoriais  $2^3$ . O projeto fatorial simples  $2^3$  pode ser executado em 2 conjuntos de 4 ensaios, confundindo a interação de 3 fatores com blocos. Ensaios com níveis (1, 1, 1), (1, -1, -1), (-1, -1, 1), (-1, 1, -1) poderão ser incluídos em um conjunto (denominado conjunto positivo) e ensaios com níveis (-1, -1, -1), (-1, 1, 1), (1, -1, 1), (1, 1, -1), no outro (denominado conjunto negativo). O grupo completo de 48 ensaios pode ser dividido em 2 blocos ortogonais de 24 por intermédio da alocação do conjunto um (ou positivo ou negativo) a partir de todos os projetos fatoriais  $2^3$  no bloco 1, e o resto no outro.

Este método é usado onde o tamanho do bloco  $s > 2$  e empregado para projetos 4, 5, 6, 7, 9, e 10. Nos projetos 7, 9, e 10 o fatorial básico é um projeto  $2^4$ . Este é dividido em dois conjuntos de tal forma que confunda a interação de fator quatro, o que vale dizer que ensaios com níveis cujo produto seja positivo são alocadas no grupo um, e o resto no outro.

Em alguns casos, ambos os métodos podem ser usados simultaneamente. Dessa forma, no projeto 6, o projeto de bloco básico incompleto contém 5 “replicações” indicadas pelas linhas pontilhadas na tabela 3.16, dando uma base para a geração de 5 blocos de 24 ensaios. Cada um desses blocos pode ser dividido em dois através da alocação dos conjuntos positivos dos fatoriais componentes no bloco 1 e os conjuntos negativos, no outro. Obtém-se, finalmente, uma combinação para geração de 10 blocos de 12 ensaios. Um procedimento similar pode ser aplicado no bloqueamento do projeto número 10 (BOX e BEHNKEN, 1960).

#### 2.5.6.Fase Controlar

Nesta fase são implementados diversos mecanismos para monitorar continuamente as variáveis X's que influenciam diretamente nos CTQs, mantendo desempenho do processo estável. Entre as técnicas adotadas, destaca-se o controle estatístico do processo(CEP) (Hoerl, 2001), através do mesmo tem-se vários métodos para monitorar a qualidade de um processo de produção. Entretanto, uma vez que um processo está sob controle é necessário manter o desempenho do processo também a longo prazo com as exigências de engenharia. A maioria dos procedimentos e os índices utilizados, foram introduzidos nos Estados Unidos primeiramente pela Ford Motor Company (KANE, 1986).

##### 2.5.6.1.Controle Estatístico do Processo

Em todos os processos de produção, há necessidade de monitoramento dos produtos através de suas especificações. Há duas anomalias da qualidade do produto: (1) desvios das especificações da média, e (2) variabilidade excessiva em torno das especificações. Durante os estágios mais adiantados de se controlar o processo de produção, as experiências projetadas são usadas freqüentemente para otimizar estas características da qualidade; os métodos fornecidos no controle de qualidade são procedimentos para controle do monitoramento de um processo de produção ( SHIRLAND, 1993):

- **Capabilidade Potencial (Cp)** - Este é o indicador mais simples e o mais direto da potencialidade do processo. É definido como a relação da escala da especificação à escala do processo; usando limites do sigma do  $\pm 3\sigma$ :

$$C_p = (LSC-LIC)/6\sigma \quad (3.26)$$

Esta relação expressa a proporção da escala da curva normal que cai dentro dos limites da especificação da engenharia.

Bhote (1988) relata o uso difundido de técnicas estatísticas do controle de qualidade (antes de 1980), a qualidade normal de processos de manufatura dos Estados Unidos era aproximadamente  $C_p = 0,67$ . Após 1988, somente 30% de processos dos Estados Unidos estavam abaixo deste nível de qualidade. Na indústria de manufatura japonesa de 1980, adotou-se como padrão  $C_p = 1,33$ . A potencialidade processo requerida para manufaturar produtos é geralmente mais elevada do que esta; Minolta (Apud Bhote 1998, p.53) estabeleceu um índice do  $C_p$  de 2,0 como seu padrão mínimo para seus fornecedores, pois quando maior o  $C_p$ , indica menor variabilidade no processo e conseqüentemente menores custos.

- **Processo não Centralizado Demonstração Excelente(Cpk):** Um dos principais defeitos do índice  $C_p$  é que pode dar informação errônea se o processo não estiver no alvo. Primeiramente, os índices potenciais superiores e mais baixos da potencialidade podem ser calculados para refletir o desvio da média observada no processo limites presumidos de  $\pm 3\sigma$  dos limites de controles superiores e inferiores. Obviamente, se estes valores não forem idênticos, o processo não é centrado. A correção (k) para corrigir o  $C_p$  para os efeitos de não centralizados, é dada pela seguinte expressão:

$$K = |(D - \bar{x})|^{1/2} \quad (3.27)$$

Onde

$$D = (LSC+LIC)/2. \quad (3.28)$$

Este fator da correção expressa a não centralização (especificação do alvo menos a média) relativo à escala da especificação. Pode-se ajustar o  $C_p$  para o efeito:

$$C_{pk} = (1-k).C_p \quad (3.29)$$

Se o processo for centrado perfeitamente,  $k$  é igual a zero, e  $C_{pk}$  é igual ao  $C_p$ .

- **Capabilidade Potencial II (C<sub>pm</sub>):** Uma modificação recente (Chan, Cheng, e Spiring, 1988) ao  $C_p$  é dirigida em ajustar a estimativa do sigma para o efeito de não centralização (aleatório). Especificamente, pode-se calcular o sigma alternativo ( $\sigma_2$ ) como:

$$\sigma_2 = \{ (x_i - TS)^2 / (n-1) \}^{1/2} \quad (3.30)$$

onde:

$\sigma_2$  = estimativa alternativa do sigma

$x_i$  = valor da amostra

TS = são o alvo ou a especificação nominal

$n$  = é o número das observações na amostra

Para a curva normal padrão, estes limites ( $z_1 = -3\sigma$  e  $z_2 = +3\sigma$ ) traduzem o percentil de 0,135 com 99,865%. No caso da distribuição não normal, os limites de “ $\sigma$ ” bem como as médias ( $z_m = 0,0$ ) podem ser substituídos pelos valores padrões correspondentes, dados os mesmos percentis sob a curva não normal (Kane, 1986).

#### 2.5.6.2. Cartas de Controle

As cartas de controle são úteis para seguir a estatística do processo ao longo do tempo e detectar a presença de causas especiais. Uma causa especial resulta na variação que pode ser detectada e controlada. A variação devido a causa comum é a variação que é inerente ao processo, pois um processo está sob controle quando há somente causas comuns. As cartas de controle por variáveis, controlam estatisticamente dados de medidas dos lotes de produção, tais como o comprimento, a pressão, etc. As cartas do controle por atributos traçam dados da contagem, tais como o número dos defeitos ou de unidades defeituosas (AIAG, 1995b).

As cartas de controle mais utilizadas nos processos de fabricação são a carta  $\bar{X}$ R e  $\bar{X}$ S, na figura 3.19 tem-se um exemplo de uma carta  $\bar{X}$ R:

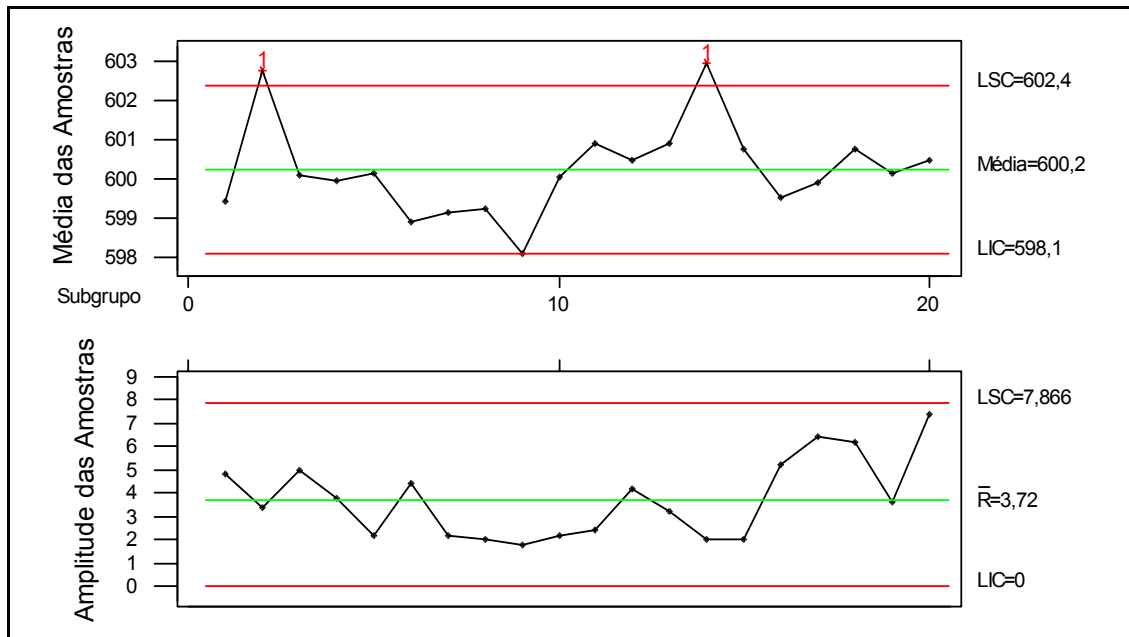


Figura 23 - Carta de Controle  $\bar{X}$  R.

Em ambas, a linha central horizontal representa as amostras diferentes; a linha central vertical para a carta de  $\bar{X}$  R representam as médias para a característica de interesse; a linha central vertical para a carta de R (amplitude) representa as escalas. A linha central na carta da  $\bar{X}$  R representa o tamanho padrão desejado, enquanto que a linha central na carta de R representa a escala aceitável; assim, esta última carta é uma carta da variabilidade do processo. Além da linha central, uma carta típica inclui duas linhas horizontais adicionais para representar os limites de controle superiores e inferiores (AIAG, 1995b).

Os tipos de cartas são classificados freqüentemente de acordo com o tipo de característica da qualidade que são supostos para monitorar: cartas para variáveis e cartas do controle para atributos. Especificamente, as seguintes cartas são construídas geralmente para variáveis controlando (AIAG, 1995b):

- **Carta  $\bar{X}$  R** – Nesta carta as médias da amostra são traçadas a fim controlar o valor médio de uma variável (por exemplo, tamanho de anéis de pistão, de força dos materiais, etc.).
- **Carta R** – Nesta carta, as escalas da amostra são traçadas a fim controlar a variabilidade de uma variável.



- **Carta S** – Nesta carta, os desvios padrão da amostra são traçados a fim controlar a variabilidade de uma variável.
- **Carta S<sup>2</sup>** – Nesta carta, as variações da amostra são traçadas a fim controlar a variabilidade de uma variável.

Para as características controlando da qualidade que representam atributos do produto, as seguintes cartas são construídas (Kane, 1986):

- **Carta C** – Nesta carta, traça-se o número dos defeitos (por grupo, por dia e por máquina, por 100 pés da tubulação, etc.). Esta carta supõe que os defeitos do atributo da qualidade são raros, e os limites de controle nesta carta são computados baseados na distribuição de Poisson (distribuição de eventos raros).
- **Carta U** – Nesta carta, traça-se a taxa dos defeitos, isto é, o número dos defeitos divididos pelo número das unidades inspecionadas. Ao contrário da carta de C, esta carta não requer um número constante das unidades, e pode ser usada por exemplo, quando os grupos (amostras) são de tamanhos diferentes.
- **Carta Np** – Nesta carta, traça-se o número dos defeitos (por o grupo, por o dia, por a máquina) como na carta de C. Entretanto, os limites de controle nesta carta não são baseados na distribuição de eventos raros, mas na distribuição binomial. Conseqüentemente, esta carta deve ser usada se a ocorrência dos defeitos não for rara (por exemplo, ocorrem mais em de 5% das unidades inspecionadas). Por exemplo, pode-se usar esta carta controlar o número das unidades produzidas com falhas menores.
- **Carta P** – Nesta carta, traça-se a porcentagem dos defeitos (por o grupo, por o dia, por a máquina, etc..) como na carta U. Entretanto, os limites de controle nesta carta não são baseados na distribuição de eventos raros mas na distribuição binomial (das proporções). Conseqüentemente, esta carta é a mais aplicável às situações onde a ocorrência dos defeitos não é rara (por exemplo, espera-se a porcentagem dos defeitos ser maior que 5% do número total das unidades produzidas).

### 3. MODELO DE AUXÍLIO AO PROJETO DO PROCESSO

O desenvolvimento do modelo baseado no método Seis Sigma pode ser dividida em cinco fases: Definição, Medição, Análise, Melhoria e Controle (D-M-A-I-C).

#### 3.1. DEFINIR

A Definição (D), é a fase de identificação de qual processo do negócio será melhorado para atender a uma Característica Crítica para o cliente (CTQ) visando o aumento da sua satisfação.

A habilidade das organizações em atender a essa expectativa está intimamente ligada à variação de seus processos. A variação de processos tem um impacto direto nos resultados financeiros da empresa em termos de custo, tempo de ciclo e número de defeitos, falhas e erros que afetam a satisfação do cliente.

Uma vez identificado o processo a ser melhorado, diz-se que está identificado um “*Projeto Seis Sigma*”. Parte-se então para a verificação da viabilidade econômica do “projeto”. Esta fase costuma ser simples de se aplicar na manufatura, onde os processos que geram produtos defeituosos e que, portanto, devem ser melhorados.

A fase de Definição é caracterizada por quatro etapas:

1. Clarificar as necessidades do cliente
2. Definir suas necessidades
3. Definição do processo a ser melhorado
4. Proposta de projeto.

##### 3.1.1. Clarificar as necessidades dos clientes

No modelo de metodologia seguido, a primeira etapa a ser cumprida para o desenvolvimento de um projeto Seis Sigma é a seleção de clientes estratégicos. É sabido que mesmo uma empresa de pequeno porte não possui apenas um único cliente e que, nem todos os seus clientes possuem o perfil para o desenvolvimento

de um projeto Seis Sigma. Muitas vezes o próprio cliente não manifesta o desejo de ter suas necessidades melhor atendidas.

Foi frente a essa realidade que surgiu a necessidade de seleção de clientes estratégicos para o foco seis sigma. Esta seleção pode ser feita de diversas formas. A primeira etapa é uma pre-seleção que baseia-se em algumas questões consideradas indispensáveis para o sucesso do foco seis sigma.

Terminada esta seleção prévia, o processo de seleção de clientes estratégicos continua, porém agora com maior detalhamento da relação cliente-fornecedor.

Terminada a seleção dos clientes estratégicos, o próximo passo é a chamada *clarificação das necessidades dos clientes*, que consiste em ouvir a voz dos clientes e buscar identificar as suas necessidades.

### 3.1.2. Definir as necessidades

Após feita esta coleta de dados e informações, chega-se a fase de tradução das Vozes dos Clientes (VOC) para Características Críticas de Qualidade (CTQ's). Os dados são então organizados em informação utilizável para que os principais possam se priorizados e, em seguida, são determinados os CTQ's.

Deve ficar muito claro que compreender os CTQs do cliente é fundamental para atingir o nível de performance Seis Sigma. Um CTQ pode ser relacionado à qualidade do produto ou a um serviço prestado.

### 3.1.3. Definição do processo a ser melhorado

Sabe-se que não é possível o desenvolvimento de todos os projetos propostos a partir dos CTQ's do cliente. Desta forma, faz-se necessária uma seleção que busca priorizar o(s) projeto(s) mais adequado(s) ao sucesso da proposta Seis Sigma de desempenho.

A seleção correta do projeto assegura que apenas projetos de alto impacto ou alta prioridade sejam executados e permite que os recursos limitados sejam alocados eficientemente. Esta seleção também garante que o projeto seja sustentável através do apoio adequado proporcionado pelas partes interessadas.

Podemos então definir a seleção de projetos como o processo que ajuda a garantir a alocação ideal dos recursos dentre os projetos potenciais através de avaliação rigorosa e a priorização destes projetos de acordo com uma série de fatores.

#### 3.1.4. Proposta de projeto

A seleção de projetos normalmente segue um processo definido. Este processo é caracterizado pelas seguintes fases:

1. Identificar as lacunas de desempenho
2. Associar ao processo
3. Analisar a causa de origem
4. Determinar a amplitude
5. Avaliar e priorizar
6. Projetos selecionados

Avaliando-se os projetos e considerando-se vários fatores, faz-se a priorização, ressaltando aquele que demonstra ser o mais adequado. Neste momento, o que se considera são aspectos como impacto ao cliente, impacto à empresa, alinhamento com a estratégia empresarial e recursos disponíveis para o seu desenvolvimento. Cabe ressaltar que benefícios financeiros para a empresa ou para os clientes é um fator de extrema importância.

A proposta de projeto consiste em uma declaração em nível macro sobre o problema assim como descrito pelo cliente, incluindo quaisquer dados atualmente disponíveis. Deve apresentar uma descrição do defeito e da oportunidade e quantificação primária dos benefícios financeiros.

### 3.2. MEDIR

Consiste no estudo dos CTQs, abrangendo ações relacionadas à mensuração do desempenho dos processos e à quantificação da sua variabilidade.

São identificadas as “Variáveis Chaves de Entrada do Processo” e as “Variáveis Chaves de Saída do Processo”.

São utilizadas as ferramentas básicas, como, por exemplo, as métricas do 6 Sigma, MSA, *FMEA* e o Desdobramento da Função Qualidade (*QFD*) (Mastro, 1998).

Nesta fase as principais ações são:

- Identificar as variáveis chaves de entrada do processo;
- Identificar as variáveis chaves de saída do processo;
- Implementar plano de coletas de dados;
- Fazer estudo da repetitividade e reprodutividade do instrumento de medição;
- Medir a capacidade do processo;
- Estabelecer metas de redução de defeitos.

#### 3.2.1. Identificar as variáveis de entrada e saída do processo

O fluxograma representa graficamente a seqüência de operações constituintes do processo produtivo, e é utilizado para analisar o problema em diversos níveis e sob diferentes aspectos. No modelo o fluxograma representa uma ferramenta da fase medir que tem por objetivo o detalhamento do processo para conhecimento das causas especiais.

Após o detalhamento do processo, em uma segunda etapa usando-se de um *brainstorming* com os operadores e dos equipamentos identificados como provável causa especial, a finalidade seria direcionar o mapeamento do processo e identificação dos variáveis de entrada.

Com os dados dos *brainstorming*, colocou-se de maneira organizada no mapa do processo as variáveis de entrada (X's) que poderiam estar afetando o processo, tendo como variável de saída (Y) .

Não é sugerido que as organizações utilizem todas as métricas utilizadas no 6 Sigma (HARRY 1994a), e sim as de acordo com os tipos de projetos a serem realizados. Algumas organizações calculam seu nível sigma através do DPMO e os converte para o nível sigma considerando o deslocamento e 1,5 sigma (SCHMIDT e LAUNSBY 1997).

A avaliação da capacidade do processo possibilita às organizações predizerem seus verdadeiros níveis de qualidade para todos os processos e serviços. Isto guia a estimativa inicial do nível sigma de um produto ou processo; assim para determinar a capacidade para uma saída variável, deve-se (BLAKESLEE, 2000):

1. Verificar a especificação do produto ou processo;
2. Tomar uma amostra (curto prazo ou longo prazo);
3. Calcular o nível z;
4. Deslocar o nível z de 1,5 se apropriado;
5. Converter o nível z no índice desejado.

A transformação “z” converte qualquer distribuição normal (dada uma média amostral e um desvio-padrão amostral) em uma distribuição normal padrão que tem uma média igual a 0 e um desvio-padrão igual a 1. Pode ser medida em unidades de, a distribuição transformada terá sempre média = 0 e desvio padrão = 1.

O valor z indica quão longe um número particular de interesse, x, está longe da média da amostra em unidades de desvio-padrão. Por exemplo, se  $z = 2$ , então o particular número de interesse, x, está 2 desvios-padrão longe da média da amostra. Ao predizer-se níveis de defeitos, (ou estimar rendimento), deve-se substituir o limite inferior de especificação (LIE) e o limite superior de especificação (LSE) por x. Assim, pode-se calcular a proporção de produtos fora da especificação baseada na média e desvio-padrão de uma amostra. O escore z é calculado pela seguinte fórmula (HARRY, 1998):

$$Z = \frac{(x - \mu)}{\sigma} = \frac{(x - \bar{x})}{S} \quad (3.4)$$

Em que:

$\mu$  = média do processo

x = média da amostra

$\bar{x}$  = Estimativa da média

$\sigma$  = desvio padrão do processo

S = estimativa do desvio padrão

A figura 3.4 ilustra um processo 6 Sigma centrado (curto prazo).

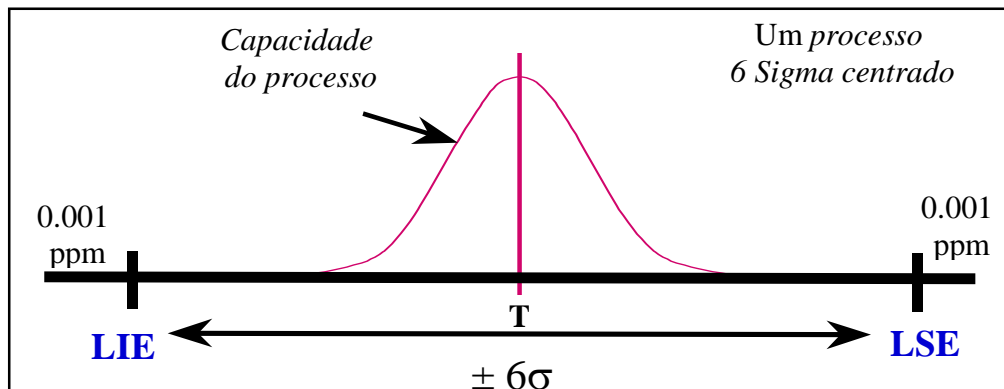


Figura 24 – Processo 6 Sigma Centrado.

Fonte: BREYFOGLE (1999).

O processo 6 Sigma, a longo prazo, pode ser representado pela figura 3.5:

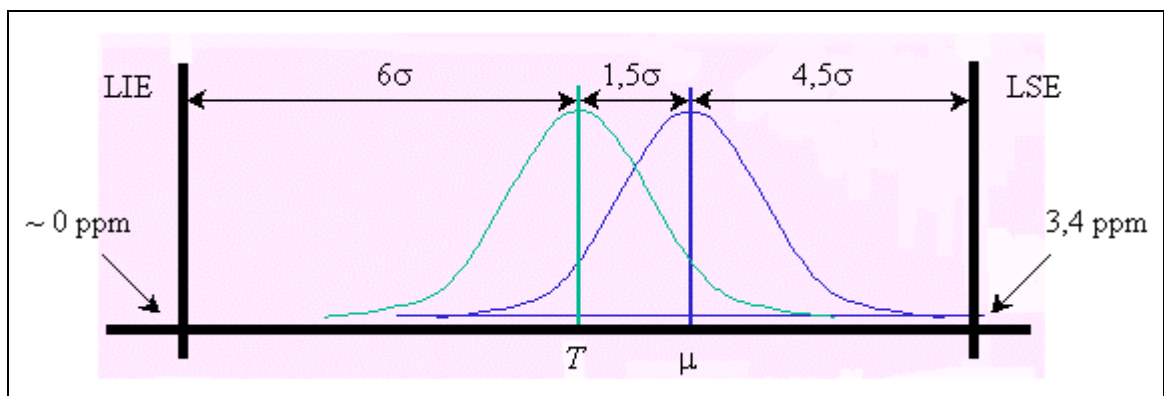


Figura 25 – Processo 6 Sigma a Longo Prazo.

Fonte: HARRY (1998).

De acordo com o nível sigma, tem-se determinado o DPMO, assim à medida que se eleva o nível sigma de um processo, diminui-se o número de defeitos. No entanto, o número de defeitos a curto prazo é menor que a longo prazo, pois há um deslocamento de 1,5 desvios padrão de curto para longo prazo.

### 3.2.2. Implementar planos para a coleta de dados

Assim,  $C_p$  é a capacidade potencial do processo supondo que o mesmo esteja centrado. Esta métrica é também chamada de “titulação de processo” ou o melhor desempenho que se pode esperar do processo a curto prazo.

A matriz QFD é simples para enfatizar a importância de se entender os requisitos do cliente. Ela prioriza X's e Y's do cliente através de ordenação numérica, usando como fonte primária, o mapa do processo. Os Y's são avaliados pela importância para o cliente e os X's pelo relacionamento com as saídas. O resultado é o *Pareto* dos X's que podem ser usados como ponto de partida na avaliação do FMEA e plano e controle (CARVALHO, 1997).

### 3.2.3. Avaliação do Sistema de Medição

As organizações têm observado constantemente o impacto de não terem qualidade em seus sistemas de medição. Muitas organizações que avaliam suas medições nem sempre podem estar exatas e se precipitam em muitas conclusões a respeito de seus processos.

No processo de medição, as características da qualidade da peça, são as possíveis fontes de variação envolvidas em cada etapa do processo de medição. Pode-se dizer que os principais fatores responsáveis pela variabilidade associada aos processos de medição são:

- Desgaste de componentes do instrumento de medição;
- Posição em que o item a ser medido é colocado no aparelho;
- Condições ambientais;
- Emprego de procedimentos de medição inadequados;
- Falta de calibração do aparelho de medição.

Para verificar se um sistema de medição é aceitável, são avaliadas a repetitividade e a reprodutividade:



- *Repetitividade* – é a variação nas medidas obtidas quando um operador utiliza o instrumento para medir repetidas vezes as características de interesse dos mesmos itens, é estimada pelo desvio-padrão agrupado (médio) da distribuição de medições repetidas (AIAG, 1995).
- *Reprodutividade* – é a diferença na média das medições feitas por diversas pessoas usando o mesmo ou instrumentos variados para medir característica idêntica na mesma peça; é estimada pelo desvio-padrão das médias das medições sob condições diferentes de medição (AIAG, 1995a).

As etapas realizadas no estudo de avaliação do instrumento de medição para avaliar o sistema de medição é utilizado, são (WERKEMA, 2000):

- Variância do Sistema de Medição
- Comparação da Repetitividade com a Tolerância
- Comparação da Reprodutividade com a Variação do Produto/Processo

As diretrizes da AIAG (1995a) para variação de medição (baseado no desvio-padrão) em comparação com a variação total são dadas como porcentagem da Tolerância:

1. Ideal: 10% ou menos;
2. Aceitável: 10-20% e
3. Marginal: 20-30% (depende da aplicação).

### **3.3.FASE ANALISAR**

Nesta fase são identificados os efeitos das variáveis X's nos CTQs, analisados os dados relativos aos processos estudados, com objetivo principal de se conhecer as relações causais e as de fontes de variabilidade e desempenho insatisfatório de tais processos, visando à melhoria destes. Explorando toda a metodologia, pode ser utilizadas as seguintes ferramentas (HOERL, 2001):

- Análise de Mult-Vari;
- Intervalo de Confiança;
- Teorema do Limite Central;

- Correlação e Regressão;
- Teste de Hipótese e
- Análise Variância (ANOVA).

Neste modelo utiliza-se análise de multi-vari, correlação e regressão.

### 3.3.1. Análise de Correlação

A correlação é uma medida da relação entre duas ou mais variáveis. O tipo mais usado de coeficiente de correlação é o de Pearson ( $r$ ), chamado também de correlação linear ou do produto do momento. As escalas das medidas usadas devem ser as mesmas escalas do intervalo, mas outros coeficientes de correlação estão disponíveis para assegurar outros tipos de dados. Os coeficientes de correlação podem variar de -1,00 a +1,00. O valor de -1,00 representa uma correlação negativa perfeita enquanto que um valor de +1,00 representa uma correlação positiva perfeita. Um valor de 0,00 representa uma ausência da correlação (KENDALL e GIBBONS, 1990).

Para as duas variáveis  $x$  e  $y$ , onde o  $s_x$  é o desvio médio padrão das amostras para a primeira amostra, e  $s_y$  é o desvio médio padrão da amostra para a segunda amostra, a correlação é dada pela seguinte equação (KENDALL e GIBBONS, 1990):

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{(n - 1)s_x s_y} \quad (3.6)$$

### 3.3.2. Regressão Múltipla

A finalidade geral da regressão múltipla (o termo foi usado primeiramente por Pearson, 1908) é descobrir mais sobre o relacionamento entre as diversas variáveis independentes e uma variável dependente, ou do critério que as mesmas estão relacionadas entre si. A equação da regressão é linear em um espaço bidimensional, sendo por (Kahane, 2001):

$$y = a + b.x; \quad (3.7)$$

Onde:

- A variável de  $y$  pode ser expressada nos termos de uma ( $a$ ) constante e uma inclinação ( $b$ ) cronometra a variável de  $x$ ;

- A constante é consultada também como a intersecção, e a inclinação como ao coeficiente da regressão ou ao coeficiente de  $b$ .

No caso da regressão múltipla, quando há mais do que uma variável independente, a linha de regressão não pode ser visualizada no espaço bidimensional, mas pode ser computada facilmente. Em geral, os procedimentos da regressão múltipla estimarão uma equação linear da seguinte forma (MILES e SHEVLIN, 2001):

$$y = a + b_1.X_1 + b_2.X_2 + \dots + b_p.X_p \quad (3.8)$$

Nesta equação, os coeficientes da regressão (ou os coeficientes de  $b$ ) representam as contribuições independentes de cada variável independente à predição da variável dependente. A correlação também pode ser expressa com a variável  $x_1$  correlacionado com a variável  $y$ , após controlar para todas variáveis independentes restantes. Este tipo de correlação é consultado também como a uma correlação parcial (KAHANE, 2001).

### 3.3.3. Análise Multi-Vari

Multi-vari é uma ferramenta gráfica que através de agrupamentos lógicos, analisa os dados históricos do processo de produção para identificar correlação entre as múltiplas fontes de variações, que impactam nas variáveis de saída, estas se classificam em (BREYFOGLE, 1999):

- Posicionais – variação dentro da peça;
- Cíclicas – variação de peça a peça consecutivas;
- Temporais – turno, dia, semana, etc...

## 3.4. FASE MELHORAR

A fase otimizar consiste fundamentalmente em descobrir as relações entre os CTQs e as variáveis  $X$ 's “pouco vitais”, para tal desenvolve -se DOE, com objetivo de se conhecer a fundo cada processo, através da mudança estrutural de níveis de operação de diversos fatores simultaneamente do processo em estudo. A informação obtida com o DOE auxilia a identificar o ajuste das variáveis-chaves para modificar e otimizar o processo.

Através do DOE é possível detectar as causas especiais por ser uma técnica que promove a interação das variáveis de entrada para analisar os efeitos sobre as variáveis de saída. O DOE não apenas revela o rendimento e a significância dos testes do nível de fator, mas também fornece um modelo de resposta. Estes experimentos podem ser combinados, segundo todas as variáveis (fatorial completo) ou com as combinações parciais (fatorial fracionário).

A utilização do DOE na investigação das causas especiais de variação do processo, tem por conseqüência o desenvolvimento de um processo robusto, pois elimina o método de tentativa e erro.

A definição da função de transferência do DOE pode ser descrita assim:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n); \quad (3.14)$$

onde:

$y$  = variável dependente do experimento ou saída do processo;

$x_i$  = variáveis independentes ou entrada do processo;

$f$  = função matemática gerada para cada variável resposta.

Esta função matemática determina que os efeitos das variáveis incontroláveis ( $Z_1, Z_2, \dots, Z_p$ ) sejam minimizados.

#### 3.4.1. Metodologia de Superfície de Resposta

A RSM transformou-se em uma ferramenta importante no processo e no desenvolvimento de produtos, esta metodologia consiste em técnicas matemáticas e estatísticas de otimização, que são usadas para melhorar e desenvolver processos. Em ambas situações, a metodologia pode ser usada para obter parâmetros de processos otimizados que resultam em um melhor produto final. As aplicações da RSM podem ser encontradas em muitos ajustes industriais onde diversas variáveis influenciam no resultado desejado (BORROR e MONTGOMERY, 2000).

Segundo Breyfogle (1999), a RSM tem uma grande vantagem, pois podem ser utilizados vários fatores para analisar vários problemas com poucos ensaios. Isto sem dúvida viabiliza os experimentos no processo industrial, pois os *set up* tem custo elevado.

### 3.4.2.RSM – Box-Behnken

No desenvolvimento de projetos Box-Behnken, delimita-se as variáveis para gerar projetos rotatórios de segunda ordem.. Supondo-se que a codificação dos níveis seja feita em unidades padronizadas, de forma que os 3 valores alcançados por cada uma das variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_k$  sejam  $-1, 0$  e  $1$ , e supondo também que o polinômio graduado de segundo grau providenciado pelo método dos menores quadrados é:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i}^k b_{ij} x_i x_j \quad (3.24)$$

Um planejamento rotativo de segunda ordem é tal que a variação de  $\hat{y}$  é constante para todos os pontos eqüidistantes do centro do projeto — ou seja, para todos os pontos para os quais  $\rho = \sum_i (x_i^2)^{1/2}$  seja constante. Dentre a classe de projetos rotativos, seleciona-se aqueles para os quais a variação de  $\hat{y}$ , (função de  $\rho$ , é razoavelmente constante na região do espaço- $k$  coberta pelo experimento. A exigência de rotatibilidade é introduzida para assegurar uma geração simétrica de informação no espaço das variáveis definidas e graduadas, até certo ponto correntemente pensadas de modo mais apropriado pelo experimentador.

Os projetos Box-Behnken são formados pela combinação de projetos fatoriais de 2 níveis com projetos de blocos incompletos de uma maneira particular. Isso é ilustrado na figura 3.13, onde é mostrado um projeto de blocos incompletos balanceados para o ensaio dos variáveis  $k = 4$  em blocos  $b = 6$  de tamanho  $s = 2$ .

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
1	*	*		
2			*	*
3	*			*
4		*	*	
5		*		*
6	*		*	

Figura 26 – Projeto de Blocos Incompletos Balanceados para 4 Variáveis em 6 Blocos.

Fonte: Box-Behnken (1960).

Os dois asteriscos em todas as linhas do projeto de blocos incompletos são substituídos pelas colunas  $s = 2$  do projeto de nível  $2^2$ . No lugar onde não tem asterisco, deve-se substituir por zero. O projeto é completado pela adição de um número de pontos centrais (0, 0, 0, 0), sendo desejável essa combinação.

### 3.5.FASE CONTROLAR

Nesta fase são implementados diversos mecanismos para monitorar continuamente as variáveis  $X$ 's que influenciam diretamente nos CTQs, mantendo desempenho do processo estável. Entre as técnicas adotadas, destaca-se o controle estatístico do processo (CEP) (HOERL, 2001), através do mesmo tem-se vários métodos para monitorar a qualidade de um processo de produção. Entretanto, uma vez que um processo está sob controle é necessário manter o desempenho do processo também a longo prazo com as exigências de engenharia.

#### 3.5.1 Controle Estatístico do Processo

Em todos os processos de produção, há necessidade de monitoramento dos produtos através de suas especificações. Há duas anomalias da qualidade do produto: (1) desvios das especificações da média, e (2) variabilidade excessiva em torno das especificações. Durante os estágios mais adiantados de se controlar o processo de produção, as experiências projetadas são usadas freqüentemente para otimizar estas características da qualidade; os métodos fornecidos no controle de qualidade são procedimentos para controle do monitoramento de um processo de produção (SHIRLAND, 1993):

- Capacidade Potencial ( $C_p$ ) -  $C_p = (LSC-LIC)/6\sigma$  (3.26)

- Processo não Centralizado Demonstração Excelente ( $C_{pk}$ ):

$$K = \left| (D - \bar{x}) \right|^{1/2} \quad (3.27)$$

Onde

$$D = (LSC+LIC)/2. \quad (3.28)$$

Este fator da correção expressa a não centralização (especificação do alvo menos a média) relativo à escala da especificação. Pode-se ajustar o  $C_p$  para o efeito:

$$C_{pk} = (1-k) \cdot C_p \quad (3.29)$$

Se o processo for centrado perfeitamente,  $k$  é igual a zero, e  $C_{pk}$  é igual ao  $C_p$ .

- Capabilidade Potencial II ( $C_{pm}$ ):  $\sigma_2 = \{ (x_i - TS)^2 / (n-1) \}^{1/2} \quad (3.30)$

onde:

$\sigma_2$  = estimativa alternativa do sigma

$x_i$  = valor da amostra

TS= são o alvo ou a especificação nominal

$n$  = é o número das observações na amostra

Para a curva normal padrão, estes limites ( $z_1 = -3\sigma$  e  $z_2 = +3\sigma$ ) traduzem o percentil de 0,135 com 99,865%.

### 3.5.2. Cartas de Controle

As cartas de controle são úteis para seguir a estatística do processo ao longo do tempo e detectar a presença de causas especiais.. A variação devido a causa comum é a variação que é inerente ao processo, pois um processo está sob controle quando há somente causas comuns. As cartas de controle por variáveis, controlam estatisticamente dados de medidas dos lotes de produção. As cartas do controle por atributos traçam dados da contagem, tais como o número dos defeitos ou de unidades defeituosas.

As carta de controle mais utilizadas nos processos de fabricação são a carta  $\bar{X}$  R e  $\bar{X}$  S, na figura 3.19 tem-se um exemplo de uma carta  $\bar{X}$  R:

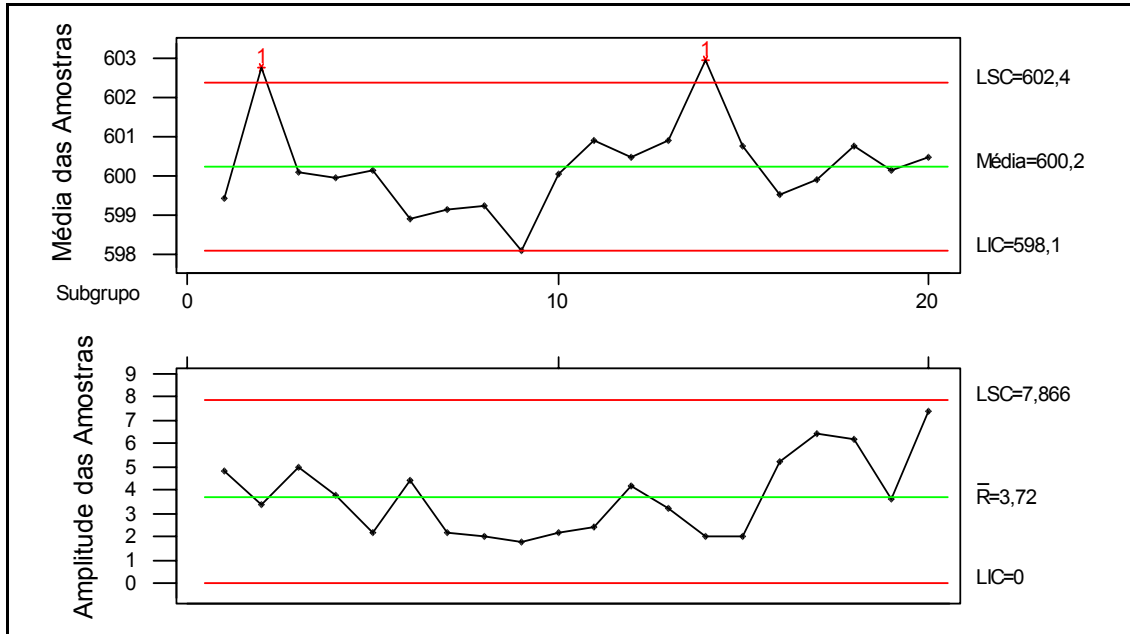


Figura 27 – Carta de Controle  $\bar{X}$  R.



## **4. APLICAÇÃO DO MODELO**

Apesar do sucesso demonstrado pelas empresas que usam uma metodologia sistemática para atingir o nível de performance Seis Sigma, existem outras que não embarcaram neste sistema, mas que utilizam métodos diversos na busca da melhora contínua da satisfação dos clientes.

Existem empresas que possuem um processo de satisfação de clientes bem estruturado, que identifica as necessidades dos clientes e promove ações para alcançá-las. Normalmente, também caracterizam-se por darem grande enfoque estatístico a seus processos, objetivando a redução da variabilidade para melhor atender seus clientes. No entanto, não possuem um engajamento total dos funcionários no sistema, que fica limitado apenas a alguns setores da companhia.

### **4.1 DEFINIR**

Baseado no estudo de caso de Rasis, Gitlow e Popovich (2002), a seguir é citado um questionário para melhor definição do projeto 6 Sigma, direcionando para as próximas fases:

9) Qual o nome do processo?

Resposta: O processo a ser estudado é a distribuição de metais aos clientes.

10) Qual o objetivo deste processo?

Resposta: O objetivo deste processo é melhorar o atendimento externo aos clientes.

11) Qual a redução de custo estimado com este projeto?

Resposta: Espera-se reduzir na ordem de 10% do faturamento mensal.

12) Qual a descrição do problema?

Resposta: A empresa estava recebendo muitas reclamações dos clientes com relação ao produto fornecido, no qual não estava atendendo as exigências necessárias. Os produtos eram fornecidos fora das especificações pedidas, provocando muito descontentamento.

13)Qual o objetivo deste projeto?

Resposta: Esperar-se reduzir a reclamação.

13)Quais os limites do projeto?

Resposta: O processo estudado inicia-se com a descrição do problema pelo cliente e sua respectiva reparação.

6b) Qual o custo estimado para este projeto?

Resposta: Este projeto terá um acréscimo de 3% na folha salarial com horas extras.

7) Quem aprovará as despesas?

Resposta: Todas as despesas serão aprovadas pelo champion.

8) Pode-se gastar além do orçado?

Resposta: Não.

9) Quais os obstáculos deste projeto?

Resposta: O cliente aceitar a execução das modificações do processo sem interferir.

10) Qual o horário de reuniões da equipe do projeto?

Resposta: A reunião para discussão do projeto será durante o horário de trabalho

6g) Qual o cronograma deste projeto?

Resposta: A tabela 4.1 mostra o cronograma deste projeto.

Fase	Responsável	Semana																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Defini	Jack	■	■	■	■																
Medi	Jack					■	■	■													
Analisa	Jack								■	■	■										
Controla	Jack											■	■	■	■	■	■	■	■		
Melhora	Jack																			■	■

Tabela 07 – Cronograma do Projeto 6 Sigma.

## 4.2 FASE MEDIR

Nesta fase as principais ações são:

- Identificar as variáveis chaves de entrada do processo;
- Identificar as variáveis chaves de saída do processo ;
- Implementar plano de coletas de dados;
- Fazer estudo da repetitividade e reprodutividade do instrumento de medição;
- Medir a capacidade do processo;
- Estabelecer metas de redução de defeitos.

### 4.2.1. Fluxograma do Processo

O processo de fabricação pode ser visto a seguir (figura 4.2):

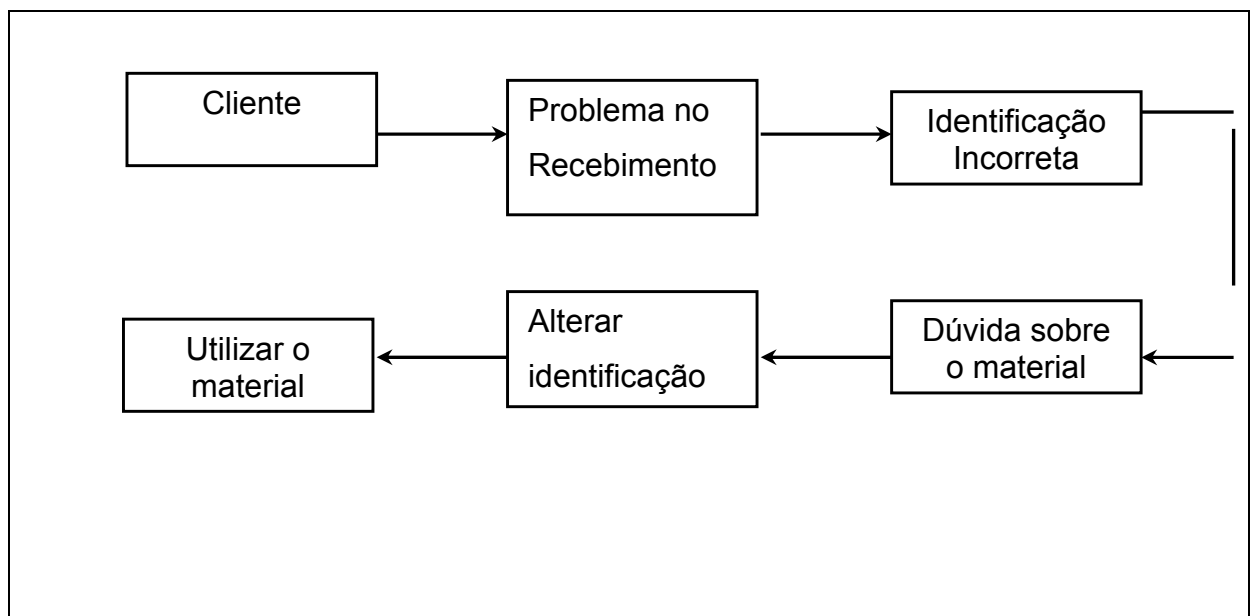


Figura 28 – Fluxograma do Processo

### 4.2.2. Mapeamento de Processo

Após o fluxograma de processo, foi feito um *brainstorming* (tabela 4.3) com a finalidade de direcionar o mapeamento do processo e identificação dos variáveis de entrada.

Variáveis de Entrada	Variáveis de Saída
Identificação mal feita	
Cores incorretas	
Sem código de cores	Problemas de identificação
Material fornecido de má qualidade	
Prazo de entrega deficitário	
Demora na resolução do problema	

Figura 29 – *Brainstorming* para Verificação das Causas Especiais.

#### 4.2.3. Medição do Nível Sigma do Processo

Para determinar a capacidade para uma saída variável, deve-se :

1. Verificar a especificação do produto ou processo;
2. Tomar uma amostra (curto prazo ou longo prazo);
4. Calcular o nível z;
5. Deslocar o nível z de 1,5 se apropriado;
6. Converter o nível z no índice desejado.

Neste projeto os dados disponíveis são do tipo atributos, onde foram consideradas todas os erros de gravação. O cálculo do nível sigma foi realizado através da fração de produtos defeituosos:

- número de produtos defeituosos antes da atuação no processo = 0,80%;
- 0,80% = 8.000 ppm.

Consultando a tabela 4.5, que faz a conversão dos defeitos em partes por milhão, considerando o processo a longo a prazo, ou seja deslocado 1,5 sigma, tem-se um processo com número de defeituoso de 8000 ppm, o que equivale a nível sigma de 3,9.

Após o término deste projeto deverá ser calculado o novo nível sigma, assim

poderá acompanhar como está o processo em reação à excelência ou seja nível 6 Sigma.

<b>Nível Sigma Longo</b>	<b>Defeitos ppm:1.5 Sigma</b>	<b>Nível Sigma Longo</b>	<b>Defeitos ppm:1.5 Sigma</b>	<b>Nível Sigma Longo</b>	<b>Defeitos ppm:1.5 Sigma</b>
1	697672.15	2.7	115083.09	4.4	1865.88
1.1	660082.92	2.8	96809.10	4.5	1349.97
1.2	621378.38	2.9	80762.13	4.6	967.67
1.3	581814.88	3	66810.63	4.7	687.20
1.4	541693.78	3.1	54801.40	4.8	483.48
1.5	501349.97	3.2	44566.73	4.9	336.98
1.6	461139.78	3.3	35931.06	5	232.67
1.7	421427.51	3.4	28716.97	5.1	159.15
1.8	382572.13	3.5	22750.35	5.2	107.83
1.9	344915.28	3.6	17864.53	5.3	72.37
2	308770.21	3.7	13903.50	5.4	48.12
2.1	274412.21	3.8	1074.14	5.5	31.69
2.2	242071.41	3.9	8197.56	5.6	20.67
2.3	211927.71	4	6209.70	5.7	13.35
2.4	184108.21	4.1	4661.23	5.8	8.55
2.5	158686.95	4.2	3467.03	5.9	5.42
2.6	135686.77	4.3	2555.19	6	3.40

Tabela 08 – Conversão de ppm para Nível Sigma

#### 4.2.4.Desdobramento da Função Qualidade

Na tabela 4.6 tem-se a matriz causa e efeito, que foi elaborada primeiramente listando-se as variáveis de saída). Depois foi avaliada, em uma escala arbitrária de 1 a 10, a saída mais importante, a qual recebeu o número mais alto. O próximo passo foi o de identificar todas as entradas, que poderiam ter impacto nos vários Y's. Avaliou-se as correlações numericamente e o efeito de cada X em cada Y dentro do corpo da matriz. Isto também foi baseado na experiência do grupo, de acordo com os seguintes critérios para o índice de importância para o cliente:

- 0 = Nenhuma correlação;
- 1 = O requisito do processo afeta só remotamente o requisito do cliente;
- 4 = Esta variável de entrada tem um requisito moderado no requisito do cliente;
- 9 = Esta variável de entrada tem um efeito direto e forte no requisito do cliente.

Índice de importância para cliente		5	4	3	3	Total
		a	b	c	d	
Etapas do processo	Variáveis do processo					
Recebimento	Cores incorretas	9	9	4	4	105
Identificação errada	Identificação mal feita	9	9	1	4	104
Dúvida	Sem código de cores	4	1	4	4	48
Alterar cores	Material fornecido	9	4	4	1	76
Utilização	Demora na solução	9	4	1	4	76

- a. Tempo perdido
- b. Re-trabalho
- c. Produção parada
- d. Confiança

Tabela 09 – Matriz Causa e Efeito

Através da matriz causa e efeito obteve-se as supostas variáveis, que de acordo com a experiência da equipe que participou da elaboração da mesma, dos problemas de identificação. Assim por esta matriz foram escolhidas as duas primeiras variáveis que tiveram maior problemas:

1. Recebimento
2. Identificação errada

É importante observar que as variáveis selecionadas pela matriz causa e efeito não são a resposta final para priorizar a atuação no processo. É preciso analisá-las primeiramente através da planilha do FMEA.

#### 4.2.5. Análise do Modo e dos Efeitos de Falha

A montagem do FMEA tornou-se necessária para identificar as maneiras pelas quais o processo poderia falhar, estimar o risco associado a causas específicas, e assim priorizar as ações que deveriam ser tomadas para reduzir o risco e avaliar o plano de validação do projeto.

As variáveis de entrada selecionadas foram as mesmas do diagrama de causa e efeito.

Entrada do processo	Causas potenciais	Ações Recomendadas
Recebimento	Cores incorretas	DOE
Identificação errada	Identificação mal feita	DOE
Dúvida	Sem código de cores	Nenhuma
Alterar cores	Material fornecido	Nenhuma
Utilização	Demora na solução	Nenhuma

Tabela 10 – FMEA do Processo

### 4.3.FASE ANALISAR

#### 4.3.1.Análise Multi-Vari

Na tabela 4.11 tem-se os dados históricos, onde consta:

- Variáveis de Entradas do Processo (X's): diferentes meses de falhas nos recebimentos
- Variáveis de Saída do Processo (Y): identificações erradas.

Amostra	Meses	Lotes Rejeitados
1	Janeiro	2
2	Fevereiro	4
3	Março	3
4	Abril	5
5	Maio	2
6	Junho	4
7	Julho	3
8	Agosto	2
9	Setembro	3

Tabela 11 – Dados do Processo para Análise de Multi-Vari.

#### 4.4.FASE MELHORAR

Assim por requerer poucos ensaios e os ajustes serem limitados o projeto Box-Behnken foi escolhido para este experimento.

As variáveis independentes, selecionadas pelas etapas anteriores do programa 6 Sigma, como Matriz Causa e Efeito e FMEA, foram: Recebimento, Identificação errada, alterar cores. A variável dependente foi o número de identificações errada no cliente. A função assumida que vincula a resposta com as variáveis independentes pode se aproximar com o polinômio de segunda ordem, que tem a seguinte forma:

$$y = b_0 + b_1 \cdot X_1 + b_2 \cdot X_2 + b_3 \cdot X_3 + b_{12} \cdot X_1 \cdot X_2 + b_{23} \cdot X_2 \cdot X_3 + b_{11} \cdot X_1^2 + b_{22} \cdot X_2^2 + b_{33} \cdot X_3^2 \quad (3.25)$$

Em que:

- $y$  é o nº de identificações erradas;
- $X_1$ ,  $X_2$ , e  $X_3$ , são recebimento, identificação errada, alterar cores, respectivamente, expressos em forma codificada (que tomam os valores 1, 0 e -1 respectivamente);
- $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$ ,  $b_{12}$ ,  $b_{13}$ ,  $b_{23}$ ,  $b_{11}$ ,  $b_{22}$ ,  $b_{33}$  são os coeficientes de regressão.

O projeto *Box-Behnken* composto de 3 variáveis e 3 níveis, com uma replicação é representada pela tabela 4.17:

Ensaio s	X1	X2	X3
1	0	---	+
2	0	+	0
3	0	0	+
4	0	0	+

Tabela 12– Matrix Box-Behnken 3 Níveis e 3 Variáveis Codificadas.

#### 4.5 FASE CONTROLAR

##### 4.5.1.CEP das Variáveis Otimizadas



O processo foi ajustado para que as variáveis recebimento, identificação errada e código de cores, que foram otimizadas através da RSM Box-Behken, mantivesse o mais próximo do valor otimizado.

Obedecendo aos valores otimizados das variáveis de entrada do projeto utilizado, e controlando o processo através das cartas de controle, foi produzido um,a nova forma de controle. Ao serem testadas novamente no cliente, a rejeição caiu de 0,80 para 0,17%, ou seja 1700 ppm.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS EM RELAÇÃO AOS OBJETIVOS

A chave do seis sigma é dupla. Por um lado nesta abordagem, as ferramentas técnicas do processo de melhoria são fundidas com o pensamento e a ação estratégicos. Sem uma gestão eficaz dos processos negociais (o plano estratégico), a metodologia de melhoria do processo resulta apenas em economia dos custos táticos.

Por outro lado, tanto no nível estratégico como no do projeto, o seis sigma funciona devido ao seu rigor e disciplina. Rigor e disciplina, no meu entendimento, significam basear as decisões em dados e na abordagem estruturada de “*mirar, apontar e atirar*”, que parece faltar a algumas empresas.

Durante as discussões entre os desenvolvedores internos e os consultores externos, veio a tona a questão da quantificação dos custos. A quantificação de uma oportunidade refere-se a análise dos custos em relação à ineficácia ou ineficiência de projeto selecionado para melhoria. Os custos associados à ineficácia incluem: uso de garantia, seguro, custos associados com retornos, perdas de oportunidades de negócios por causa de má reputação, perdas de contratos por não atendimento de exigências de qualidade, custo de transporte gratuito para o cliente, relançamentos. Os custos associados à ineficiência incluem: retrabalho, desperdício, tempo de manutenção de máquinas, excesso de inventários, retrabalhos ou outros passos não agregadores de valor no processo.

Existe uma ênfase muito grande sobre a aplicação da estatística no seis sigma. Neste caso as equipes podem fracassar ao não utilizar a metodologia DMAIC adequadamente.

O projeto 6 Sigma pode-se estabelecer novos controles para o processo de fabricação. Com o controle também mais rigoroso das variáveis em torno dos valores otimizados, produziu-se produtos com melhores níveis de qualidade.

Foi proposta a utilização deste projeto, através da RSM para otimização das variáveis de entrada. A redução de custo foi da ordem de 10% do faturamento da empresa.

O trabalho teve como objetivo utilizar a metodologia 6 Sigma, mostrando um exemplo prático de aplicação da mesma. As variáveis de entrada no processo para o projeto tiveram seus valores otimizados, possibilitando à empresa antecipar futuros problemas com o cliente.

Com base no exposto acima, pode-se concluir que o objetivo geral do trabalho foi atingido.

## **5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Uma sugestão para um trabalho futuro seria uma aplicação da Fase de Definição da metodologia DMAIC para clientes internos, o que proporcionaria uma melhor visualização da eficiência e da versatilidade do modelo.

## REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Projeto NBR ISO 9000**. Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. NBR ISO 14001, 1996.

AIAG (1995 a), **Automotive Industry Action Group, Measurement Systems Analysis MSA) Reference Manual**, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Detroit Michigan.

AIAG (1995 b), **Statistical Process Control (SPC) Reference Manual**, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Detroit Michigan.

AIAG (1995 c), **Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) Reference Manual**, Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, Detroit Michigan.

Akao, Y., 1996, **Manual de Aplicação do Desdobramento da Qualidade: Introdução ao Desdobramento da Qualidade**, volume 1.

Bemowski, K., 1991, *The Benchmarking Bandwagon*, Quality Progress.

BHOTE, K. R. (1988), **World class quality**. New York: AMA Membership Publications.

BLAKESLEE, J. A. (2000), **Achieving Quantum Leaps in Quality and competitiveness: Implementing Six Sigma Solution in Your Company**, ASQ' S 53<sup>rd</sup> Annual Quality. Congress Proceeding, pages 495-496.

BORROR, C. M. and MONTGOMERY, D. C. (2000), **Evaluation of Statistical Design for Experiments Involving Nois Variables Variables**, Journal of Quality Technology, Vol. 34. Issue 1.

BOX, G. E. P. and BEHNKEN, D. W. (1960), **Some new Three level Design for the Study of quantitative Variable**, Technometrics, Vol. 1, pp. 445-476.

- BOX, G. E. P. and DRAPER, N. R. (1987), **Empirical Model Building and Response Surfaces**, Wiley, New York.
- BACKER, Paul de. **Gestão ambiental: a administração verde**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1995.
- BANAS QUALIDADE. **Como comparar o Seis Sigma, o Lean e a Teoria das Restrições**. www.banasqualidade.com.br, Set. 2002.
- \_\_\_\_\_. **Ferramentas estatísticas para o Seis Sigma**. www.banasqualidade.com.br, Julho/2002.
- BREYFOGLE, F. W. (1999), **Implementing Six Sigma : Smarter Solutions Using Statistical Methods**, John Wiley & Sons, Inc Texas.
- BERGANO, V. F. **Gerência Econômica da Qualidade através do TQC : Controle Total da Qualidade**. São Paulo: Makro, McGraw-Hill, 1990.
- BROCKA, B. **Gerenciamento da Qualidade. Implementando TQM, passo a passo, através dos processos e ferramentas recomendadas por Juran, Deming, Crosby e outros mestres**. São Paulo: Markon Books, 1994.
- BASSI, Eduardo. **Globalização e megatendência econômica aumentam comércio internacional**. Revista Empreendedor, ano 4, n. 45, julho.1998.
- BECKER, Dinizar Fermiano. **Necessidades e finalidades dos projetos regionais de desenvolvimento local**. Estudo & Debate, Lajeado, ano 5, n. 1, p. 29-46, 1998.
- CARVALHO, Alexandre Bruno Moreno. **BQ Qualidade – Meio ambiente**, p. 73-80, Ago./1998.
- CAVALCANTI, Clóvis. **Meio ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas**. São Paulo: Cortez, 1997.

DONAIRE, Denis. **Gestão ambiental na Empresa**. São Paulo: Atlas, 1995.

Eckes, George. **A Revolução do Seis Sigma**. Editora Campus

FRANCO, Augusto de. **Desenvolvimento local integrado e sustentável**. Instituto de Política, 2000.

MAY, Peter Herman; MOTTA, Ronaldo Serôa da. **Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

MOURA, Luiz Antônio Abdala de. **Qualidade e gestão ambiental – Sugestões para implantação das normas ISO 14000 nas empresas**. Editora Oliveira Mendes.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade no processo: a qualidade na produção de bens e serviços**. São Paulo: Atlas, 1995.

\_\_\_\_\_. **Qualidade total na prática: implantação e avaliação de sistemas de qualidade total**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 1997.

PEREIRA JR., Paulo Jorge C.; GONÇALVES, Paulo Roberto S. **A empresa enxuta**. Rio de Janeiro: Campus, 1995.

GREEN Belt GE, GE América Latina - **6 Sigma College, 2000**, - Manual do Participante, Definição.

SANTOS, Theotônio dos. **Economia mundial: integração regional e desenvolvimento sustentável**. 4 ed. Petrópolis: Vozes, 1999.

SILVA, Anielson Barbosa da. **Globalização, tecnologia e informação: a tríade que desafia a administração**. Revista Brasileira de Administração, ano VIII, n. 22, julho.1998, p. 12-10

TEIXEIRA, Elenaldo. **O local e o global: limites e desafios da participação cidadã**. São Paulo: Cortez, s/d.

- VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente.** São Paulo: Pioneira, 1995.
- VIEIRA, Liszt. **Cidadania e globalização.** 2 ed. São Paulo: Record, s./d.
- WOOD JT., Thomaz. **Mudança organizacional.** São Paulo: Atlas, 1995.
- CAMPOS, V. F. **Gerencia da Qualidade Total Estratégia para aumentar a Competitividade da Empresa Brasileira. Belo Horizonte. Fundação Christiano Ottoni. Escola de Engenharia da UFMG.** Rio de Janeiro: Bloch, 1990.
- CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia.** Belo horizonte. fundação Christiano ottoni. Escola de Engenharia da UFMG. Rio de Janeiro: Bloch, 1994.
- CAMPOS, V. F. **TQC - Controle da Qualidade Total (no Estilo Japonês).** Belo Horizonte. Fundação Christiano Ottoni. Escola de Engenharia da UFMG. Rio de Janeiro: Bloch, 1992.
- CARVALHO, M. M.(1997), **QFD- Uma Ferramenta de Tomada de Decisão em Projeto.** Universidade Federal e Santa Catarina.
- CHAN, L. K., CHENG, S. W., & SPIRING, F. (1988), **A New Measure of Process Capability: Cpm.** Journal of Quality Technology, 20, 162-175.
- COLE, D. A., MAXWELL, S. E., ARVEY, R., & SALAS, E. (1993), **Multivariate Group Comparisons of Variable Systems: MANOVA and Structural Equation Modeling.** Psychological Bulletin, 114, 174-184.
- CORNELL, J. (1981), **Experiments with Mixtures, 2<sup>nd</sup>,** John Wiley & Sons Inc New York.
- CORNELL, J. A. (1990a), **How to Run mixture Experiments for Product Quality.** Milwaukee, Wisconsin: ASQC.

- CORTINA, J. M. and NOURI H. (2000), **Effect Size for ANOVA Designs**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. Quantitative Applications in the Social Sciences series no. 129.
- CUSTÓDIO, T. N., MORAIS, A. R. e MUNIZ J. A(2000), **Superfície de Resposta em Experimento com Parcelas Subdivididas**. Ciências Agrotécnica, Lavras, v.24, n.4, p.1008.
- DEMING, W. F. (1986). **Out of Crisis's, Massachusetts Institute of Technology**, Cambridge, MA.
- FEIGENBAUM, A. V. **Controle da Qualidade Total**. São Paulo: Makron Books.1994.
- FEIGENBAUM, A. V. **Total Quality Control**. McGraw-Hill, 1961.
- GE (2001),General Electric Company, Annual Report 2001.
- GIRDEN, E. R. (1992), **ANOVA Repeated Measures**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. Quantitative Applications in the Social Sciences series no. 84.
- GODFREY, A .B.(2000), **A Carreira dos Faixas Pretas, Banas Qualidade**, Maio 2000.
- HOSOTANI, K. **The QC Problem Solving Approach Solving Worplace Problems the Japanese Way**. 3A Corporation, Tokyo, Japan, 1992.
- HAHN. G. J., HILL, W. J., J., HOERL., R. W. and ZIKGRAF, S. A (1999), **The Impact of Six Sigma Improvement: A Glimpse Into the Future of Statistics**, The American Statician 53, pp. 1-8.
- HALBLEIB, L. L. and CROWDER, S. V. (2001), **Teaching Design of Experiments Using a Job Aid and Minitab, Sandia National Laboratories**. [on line, <http://www.minitab.com/resources/whitepapers/crowder.htm>; capturado em 05/01/2002].
- HARRY, M. J. (1988). **The Nature of 6 Sigma Quality**, Rolling Meadows, IL:



Motorola University.

HARRY, M. J. (1994 a), **The Vision of Six Sigma: Tools and Methods for Breakthrough Sigma**. Published Company, Phoenix, Arizona.

HARRY, M. J. (1998), **A Breakthrough Strategy for Profitability**, Quality Progress, May: 60-64.

HOERL, R. W. (2001), **Six Sigma Black Belts: What Do They Need to Know?** Journal of Quality Technology Vol. 33, N.º 4.

HRADESK, J. L. (1988), **NA Practical Guide to Implementing Statistical Process Control**, McGraw - Hill, Inc. New York.

ISHIKAWA, K. **Controle da Qualidade Total: A maneira Japonesa**. Rio de Janeiro: Campos, 1993.

JACKSON, S. and BRASHERS, D. E. (1994), **Random Factors in ANOVA**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. Quantitative Applications in the Social Sciences series no. 98. Thorough coverage of random effect models, including SAS and SPSS code.

KAHANE, L. H. (2001), **Regression Basics**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

KANE, V. E. (1986), **Process Capability Indices**. Journal of Quality Technology, 18, 41-52.

KENDALL, M. and GIBBONS, J. D. (1990), **Rank Correlation Methods**, *Fifth Edition*. NY: Oxford Univ Press; ISBN: 0195208374.

KOSELKA, R. (1996), **The New Manta: MTV, Forbes**, March 11, 1996, pp. 114- 118.

LINDERMAN, K., SCHROEDER, R. G., ZAHEER, S. and CHOO, A., (2002), **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**, Journal of Operations Management, (21) 193-203.

MASTRO, C. A. (1998), **Using Six Sigma to Optimize a Continuous Chemical**

**Process at AlliedSignal Inc**, North Carolina State University.

MILES, J. and SHEVLIN, M. (2001), **Applying Regression and Correlation**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. Introductory text built around model-building.

MINITAB (2000), **Minitab Statistical Software**, Release 13.31 for Windows.

MONTGOMERY, D. C. (1997), **Design and Analysis of Experiments**, John Wiley & Sons, Inc New York.

MORGAN, E. (1985), **Tinplate and Modern Canmaking Technology**, Pergamon Press, Inc Oxford.

MINUZOS. Company - **Wide Total Quality Control**. Asian Productivity Organization. 1989, 313p.

PALADINI, E. P. **Controle de Qualidade: Uma Abordagem abrangente**. São Paulo: Atlas, 1990.

PALADINI E. P. **Qualidade Total na Prática. Implantação e avaliação de sistemas de qualidade total**. São Paulo: Atlas, 1994.

PEREZ-WILSON, M. **Seis sigma: compreendendo o conceito, as implicações e os desafios**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.

PIEPEL, G. F. (1988), **Programs for Generating Extreme Vertices and Centroids of Linearly Constrained Experimental Regions**. Journal of Quality Technology, 20, 125-139.

RASIS, D., GITLOW, H. S. and POPOVICH, E. (2002), **Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green belt Case Study I and II**, Quality Engineering, 2002- Vol. 15, N.º 2.

SHIBAS, S. **A New American TQM - Four Practical Revolutions in Management**. Productivity Press, 1993.

- SCHMIDT, S. and CASE, K. (2001), **Communicating Design of Experiments (DOE) to Non-statisticians**, Air Academy Associates and Oklahoma State University.[on line, <http://www.airacad.com/Papers/CommunicatingDOE.html>; capturado em 10/01/2002].
- SCHMIDT, S. R. and LAUNSBY, R. G. (1997), **Understanding Industrial Designed Experiments**, Air Academy Press, Colorado Spring, CO.
- SCHMIDT, S. R., KIEMELE. M.J., BERDINE, R. J. (1997), **Knowledge Based Management**. Air Associates Press & Academy, Colorado Spring.
- SHIRLAND, L. E. (1993), **Statistical quality control with microcomputer applications**. New York: Wiley
- SIGNOR, M. C. (2000), **The Failure Analysis Matrix: A Usable Model for Ranking Solutions to Failure in Information Systems**, School of Computer and Information Sciences Nova Southeastern University, USA.
- SNEE, R. D. (2000), **Six Sigma Improved Both Statistical Training and Process**, Quality Progress 33(10), pp. 68-72.
- TURNER, J. R. and THAYER, J. (2001), **Introduction to Analysis of Variance**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. Focus on explaining different types of designs.
- TURNEY, T. A. (1998), **Canmaking: the Technology of Metal Protection and Decoration**, Blankie Academic & Professional, Inc London.
- WERKEMA, M. C. C. (2000), **Avaliação da Qualidade de Medidas**, Editora de Desenvolvimento Gerencial, MG.
- YOSHIMOTO, K. Quality Organization and Management - **TQC Experiences in YHP** - Hewlett Packars Company. July, 1994.YOSHINAGA, C. **Qualidade Total. A Forma mais prática e Econômica de Implementação e Condução**. São Paulo, 1988, 229p.