UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Análise Da Utilização Da Ferramenta CEP: Um Estudo De Caso Na Manufatura De Autopeças

Autor: **Sílvio Miotta Torminato**
Orientador: **Prof. Dr. Olívio Novaski**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Análise Da Utilização Da Ferramenta CEP: Um Estudo De Caso Na Manufatura De Autopeças

Autor: **Sílvio Miotta Torminato**
Orientador: **Prof. Dr. Olívio Novaski**

Curso: Engenharia Mecânica
Área de Concentração: Planejamento e Gestão Estratégica da Manufatura

Trabalho final de mestrado profissional apresentado à comissão de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Planejamento e Gestão Estratégica da Manufatura.

Campinas, 2004
SP – Brasil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Trabalho Final de Mestrado Profissional

Análise Da Utilização Da Ferramenta CEP: Um Estudo De Caso Na Manufatura De Autopeças

Autor: **Sílvio Miotta Torminato**
Orientador: **Prof. Dr. Olívio Novaski**

_____
Prof. Dr. Olívio Novaski, Presidente
Instituição UNICAMP

_____
Prof. Dr. Miguel Juan Bacic
Instituição IE/UNICAMP

_____
Profa. Dra. Ana Cervigni Guerra
Instituição CEMPRA

Campinas, 03 de dezembro de 2004.

Dedicatória:

Dedico este trabalho aos meus pais que estiveram presentes me apoiando e me incentivando não só nos momentos difíceis como em qualquer outro.

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ter sido concluído sem a ajuda de diversas pessoas às quais presto minha homenagem:

Aos meus pais pelo incentivo em todos os momentos da minha vida.

Ao meu orientador que me mostrou os caminhos a serem seguidos.

A todos os professores, amigos e colegas do departamento que ajudaram, de forma direta ou indireta, na conclusão deste trabalho.

"Minha verdadeira tarefa não é a fabricação de automóveis. Os carros que saem da minha fábrica são apenas subprodutos do meu verdadeiro trabalho que é fazer homens".

Henry Ford

Índice

Dedicatória: ..... *iii*
Agradecimentos ..... *iv*
Índice ..... *vi*
Resumo ..... *viii*
Abstract ..... *ix*
Lista de Figuras ..... *x*
Nomenclatura ..... *xii*

Capítulo 1 - Introdução *1*

1.1 Justificativa 6

Capítulo 2 - Revisão da Literatura *8*

2.1 O Controle Estatístico do Processo 9

2.2 A Variabilidade 11
2.2.1 Causas Comuns 11
2.2.2 Causas Especiais 12

2.3 Ferramentas Básicas do CEP 14
2.3.1 Gráficos de Controle 15
2.3.1.1 Montagem dos Gráficos de Controle 18
2.3.2 Classificação dos Gráficos de Controle 22
2.3.2.1 Gráficos de Controle de Atributos 24
2.3.2.2 Gráficos de Controle de Variáveis 24
2.3.2.2.1 Interpretação dos Gráficos $\overline{X}$ e R 24
2.3.3 Índices de Capacidade do Processo (Cp e Cpk) 29
2.3.3.1 Interpretação dos Índices 31

2.4 Seis Sigma (6σ) 33

2.5 O Controle do Processo 33

2.6 O CEP Hoje 39

2.7 O CEP a Longo Prazo (Dificuldades) 44

Capítulo 3 - Procedimento Metodológico *49*

3.1 O Problema 49
3.1.1 Medidas Preventivas de Qualidade – O Estudo: 49
3.1.2 Análise da Situação Atual (antes do estudo) 50

3.2 Implantação do Projeto 51

3.3 O Método 54

Capítulo 4 - A Empresa, o Processo e o Estudo de Caso *56*

4.1 O Processo de Fabricação 61

4.2 Análise de Controle de Processo - A Variável 63

4.3 Manutenção do Ferramental do Volante: 68

Capítulo 5 - A Nova Variável de Controle *72*

5.1 A Nova Variável de Controle: Altura do Cubo 75

5.2 Resultados 79

Capítulo 6 - Conclusões e Trabalhos Futuros *83*

Referências Bibliográficas *86*

Anexos *91*

Resumo

TORMINATO, Sílvio Miotta, Análise Da Utilização Da Ferramenta CEP: Um Estudo De Caso Na Manufatura De Autopeças, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 106 p. Dissertação (Mestrado).

O objetivo principal desta dissertação é apresentar uma aplicação da ferramenta CEP, quando essa aplicação se desenvolve em um ambiente onde a preocupação maior é focada na qualidade, deslocando o conceito de volume de controle para a especificidade do mesmo. Mostra-se que apesar das limitações de determinados processos, a ferramenta pode auxiliar os mesmos controlando e reduzindo sua variabilidade dentro dos parâmetros tecnológicos conhecidos. O estudo se iniciou objetivando a redução de cartas de controle, já que este excesso de cartas, desmotivava os profissionais envolvidos, colocando a ferramenta CEP em descrédito. Durante o estudo de caso, identificou-se uma oportunidade de utilização eficaz dos recursos disponíveis e da aplicação da ferramenta em duas áreas distintas da empresa. Nessas, modo conseguiu-se um controle mais eficaz do processo, resultando na redução de horas paradas de máquina, eliminação de risco de acidente, volta da confiança na ferramenta CEP obteve-se estabilidade em dois processos controlando somente um deles.

Palavras-Chaves:

CEP – Controle Estatístico de Processo, Carta de Controle, Gráfico de Controle, Controle da Qualidade

Abstract

TORMINATO, Silvio Miotta, Analisys of the Last Tool use SPC : A Study about a Spare-Parts Manufacture, Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2004. 106 p. Dissertation (Mestrado).

The main goal of this dissertation is to present an application of the SPC tool when this application is developed in an environment where the concern is more focused on quality, shifting the concept of volume control for its specification. It shows that despite all the limitation at determined processes, the tool can assist them (the processes) by controlling and reducing their variability under known technological parameters. The study started by focusing the control letters, dismotivated by focusing the control letters, seen that consequence, dishonoring the SPC tool. During the case study, I could identify an effective usage of the available resources in the application of the tool at two distinctive areas in the plant. In this manner, an effective control of the process was more effective, resulting to a reduction of the idle time by the machine, eliminating accident risks, concerning the SPC tool's reliance, I can state that the SPC tool is stable at both processes controlling only one of them.

Key Words:

SPC – Statistical Process Control, Control Letter, Graphic Control, Quality Control.

Lista de Figuras

Figura 01 - Fluxo tradicional de processo com controle no final de linha 2

Figura 02 - Fluxo de processo com utilização de CEP 3

Figura 03 - Etapas da abordagem 10

Figura 04 - Causas comuns e causas especiais de variação 13

Figura 05 - Gráfico da Distribuição Normal 18

Figura 06 - Gráfico $\overline{X}$ 20

Figura 07 - Gráfico R 20

Figura 08 – Processo sob controle 25

Figura 09 - Processo com alguns pontos acima da linha média 26

Figura 10 – Processo fora de controle com seqüência crescente dos pontos 26

Figura 11 – Processo fora de controle com arredondamento forçado 27

Figura 12 - Processo fora de controle com medição ´viciada´ 27

Figura 13 - Alça de *feedback* 34

Figura. 14 - Estados possíveis de controle 38

Figura 15 – Datadores encobertos 52

Figura 16 – Datadores visíveis 53

Figura 17 - Composição da estrutura do volante 62

Figura 18 - Máquina de Injeção de Volantes em Poliuretano. 62

Figura 19 - Conjunto Volante *Airbag*. 63

Figura 20 - Equipamentos utilizados. 64

Figura 21 - Batimento Axial (etapa inicial) 64

Figura 22 - Batimento Axial (etapa final) 65

Figura 23 – Carta de Controle e Índices de Capacidade do Processo 67

Figura 24 - Modelo original para construção do ferramental 69

Figura 25 - Ferramental em fase de reconstrução. 69

Figura 26 a) Ferramental lado fixo. 70

Figura 26 b) Ferramental lado móvel. 70

Figura 27 - Marcas de queimado devido às projeções de alumínio (lado esq) 73

Figura 28 - Marcas de queimado devido às projeções de alumínio 73

Figura 29 - Marcas de queimado devido às projeções de alumínio 74

Figura 30 - Canal de injeção e estrutura 74

Figura 31 - Cavidade da estrutura 75

Figura 32 - Projeção de Alumínio 76

Figura 33 - Projeção de Magnésio 76

Figura 34 - Cubo do volante 77

Figura 35 - Gráfico de Controle da variável ´Altura do Cubo' 78

Figura 36 - Folha de Cálculo de Cp e Cpk, da variável 'Altura do Cubo' 78

Figura 37 - Gráfico - Redução das Cartas de Controle 80

Figura 38 – Gráfico - Desempenho, em horas de trabalho 81

Figura 39 – Gráfico - Redução de mão de obra 81

Nomenclatura

Letras Gregas

μ - média
σ **-** desvio padrão

Abreviações

CEP **-** Controle Estatístico de Processo
DOE **-** (Desing of Experiments) Planejamento de Experimentos
Cp - Índice de Capacidade Potencial ou Capabilidade ou Capabilidade de Máquina
Cpk - Índice de Performance ou Capacidade de Desempenho do Processo
LIE - Limite Inferior de Especificação
LSE **-** Limite Superior de Especificação
FPI **-** Finished Product Inspection
IQM **-** Índice de Qualidade de Manufatura
IQP **-** Índice de Qualidade de Produto
ASQC **-**American Society for Quality Control
CCQ **-** Círculos de Controle da Qualidade
FCU - Fabricação Classe Universal

Capítulo 1

Introdução

Nas últimas duas décadas, o cenário competitivo brasileiro foi alterado em função da exposição dos consumidores de produtos de melhor qualidade e menor custo. Além de investimento em novas tecnologias e modernização do parque industrial, a competitividade dos produtos brasileiros está ligada ao aumento de produtividade com o uso de ferramentas estatísticas de controle de processo.

Uma das ferramentas mais simples e de maior efetividade é o CEP (Controle Estatístico de Processo). Através desta ferramenta, consegue-se controlar características significativas do produto e do processo, garantindo níveis de qualidade a custo exigido pelo mercado.

Segundo Kume (1993), este sistema foi proposto, inicialmente, pelo Dr. Walter A. Shewhart, em 1924, como uma ferramenta para auxiliar na eliminação de variações anormais em processos, pela diferenciação entre as causas comuns as causas especiais. Os problemas decorrentes das causas especiais são imprevisíveis em qualquer processo; já os problemas decorrentes das causas comuns podem ser identificados. Sua tendência de

agravamento pode ser prevista e ações decorrentes desta análise podem ser implementadas de modo a manter as causas dentro de níveis aceitáveis.

No mundo atual, todas as empresas buscam uma posição competitiva no mercado por meio do aumento da produtividade e da qualidade de seus produtos. Para tanto, há a necessidade de se implantar processos de fabricação confiáveis e o CEP é uma das principais ferramentas de garantia de confiabilidade do processo.

Em detrimento do tradicional método de inspeção das peças produzidas, (inspeção 100% com uso de pessoas) valorizam o acompanhamento e o controle do processo por intermédio do CEP, como mostrado na figura 01 abaixo.

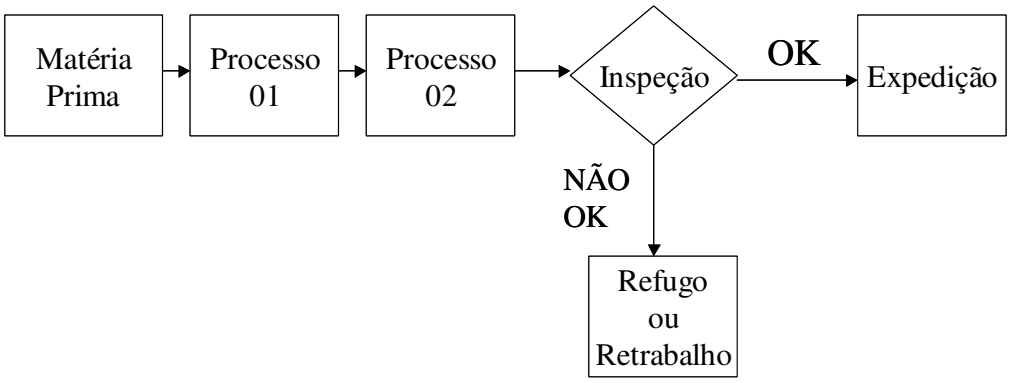


Figura 01- Fluxo tradicional de processo com controle no final de linha.

No modo tradicional, o controle exclusivo do produto acabado faz com que o risco de reprovação de grandes lotes de produto acabado seja elevado, aumentando os custos médios em função de anomalias no processo.

Já, em um processo com controle de CEP intermediário, o risco da produção de lotes de produtos acabados defeituosos é minimizado, uma vez que há o gerenciamento das anomalias do processo em cada etapa dele, visto na figura 02.

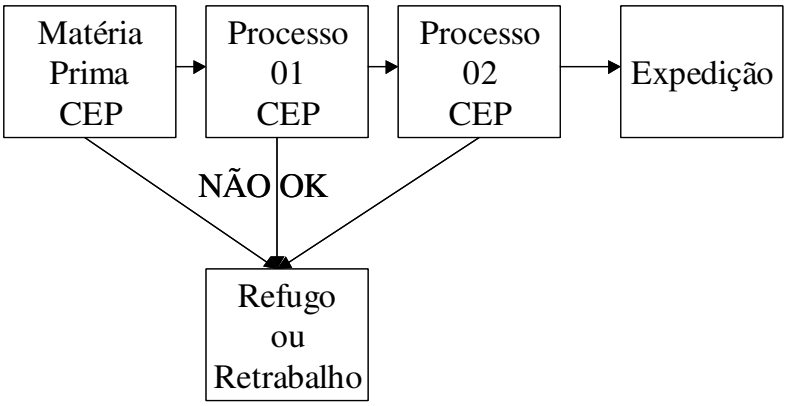


Figura 02- Fluxo de processo com utilização de CEP.

O CEP deve ser entendido então, como parte integrante do processo de produção e do controle da qualidade. Sua utilização é dificultada caso seja interpretado como ferramenta isolada. Além da implementação do CEP, para atingir a excelência operacional, são necessários:

- A manutenção da estabilidade do processo através da padronização das tarefas operacionais. A repetição das atividades operacionais no processo é fundamental para manter, dentro de valores adequados, a parcela da variação da mão-de-obra;

- O desenvolvimento de produtos e processos *taylor made*. A diminuição da variabilidade não é obtida apenas com o auxílio do CEP. Neste contexto, para que a variabilidade seja reduzida é importante que tanto o produto quanto o processo sejam desenvolvidos com esta finalidade, isto é, os produtos e os processos devem ser projetados para atender a um determinado nível de variação;

- Que outras ferramentas sejam agregadas, visando a redução da variabilidade. Entre estas, destaca-se o *Design of Experiments* (“Planejamento ou Delineamento de

Experimentos"), metodologia que permite a identificação e a quantificação das variáveis influentes no processo;

- A prática constante do CEP de modo a conduzir ao maior conhecimento do processo, gerando novos dados, fatores e características que podem ser utilizados no desenvolvimento de novos produtos e processos.

Dentro deste contexto, o objetivo principal desta dissertação é apresentar uma aplicação da ferramenta CEP, quando essa aplicação se desenvolve em um ambiente onde a preocupação maior é focada na qualidade, deslocando o conceito de volume de controle para a especificidade do mesmo. Mostra-se que apesar das limitações de determinados processos, a ferramenta pode auxiliar os mesmos controlando e reduzindo sua variabilidade dentro dos parâmetros tecnológicos conhecidos.

Em função, e como conseqüência da procura dos objetivos gerais, poderão resultar também as seguintes observações:

- Através deste estudo de caso, alertar o leitor sobre possíveis distorções na aplicação do CEP;

- Possível redução dos custos de aplicação da ferramenta, obtendo assim melhores resultados para a empresa.

- Manutenção da Rastreabilidade;

- Possível redução do tempo de parada de máquina para manutenção de ferramental;

- Possível redução do risco de acidentes, em função de projeção de material durante o processo de injeção de alumínio;

- Possível aumento da motivação daqueles envolvidos com o uso da ferramenta CEP.

Para o alcance dos objetivos gerais e específicos, o trabalho foi estruturado da seguinte forma:

Cap. I – Introdução sobre o tema; levantamento bibliográfico sobre os campos de conhecimento relacionados ao objetivo deste trabalho, além da Estruturação e sua Justificativa.

Cap. II - Estudo da bibliografia; uma revisão teórica do Controle Estatístico do Processo (CEP) e como utilizá-lo como ferramenta de análise. Inicialmente, é apresentado um breve histórico da qualidade, e introduzida a teoria básica do CEP. Posteriormente são apresentados os principais gráficos de controle utilizados no CEP e suas características, com o objetivo de identificar os pontos que reforçam a aplicação desta ferramenta, além de obter subsídios teóricos para o desenvolvimento do mesmo.

Ainda dentro deste capítulo, serão abordados os seguintes tópicos:

1. A introdução do conceito de processo e de gestão da rotina;
2. Discussão dos principais aspectos do gerenciamento de processos;
3. Apresentação do conceito de variabilidade e capacidade de processo na avaliação de processos;
4. Apresentação dos índices de capacidade de processo.

Cap. III – Procedimento Metodológico; mostra o cenário atual, descrevendo os problemas encontrados, a apresentação das variáveis a serem controladas e o método utilizado.

Cap. IV – Apresenta um breve histórico da empresa; onde se deu o estudo de caso, bem como sua filosofia. Mostra as etapas do processo de fabricação e a forma como o processo é controlado seguindo as exigências dos clientes.

Cap V – Mostra a nova variável de estudo; seus resultados e as conseqüências imediatas da implantação do CEP e a necessidade de interrompê-lo em uma determinada área e, aplicá-la em outra.

Cap. VI – Relata a conclusão do trabalho realizado e apresenta sugestão para trabalhos futuros.

A apresentação, bem como a análise e a discussão do estudo de caso, servirá, principalmente, para a otimização do processo de aplicação do CEP que, em muitos casos, é distorcida, porque o foco é o volume de controle (quantidade de cartas) e não a qualidade de controle (característica significativa). Na realidade, o mais importante aqui, é deixar o processo estável, sob controle e com o menor número de cartas possível.

1.1 Justificativa

Por que então implantar o CEP – Controle Estatístico de Processos na fabricação? Com a abertura de mercado, no final da década de 80, veículos de alta qualidade e de baixo custo passaram a integrar o cenário automobilístico brasileiro. As montadoras aqui

instaladas foram forçadas a buscar um nivelamento em qualidade e custo com os produtos importados.

Uma das principais ferramentas utilizadas pelos fornecedores de autopeças para atingir as novas exigências de qualidade e custo foi o CEP, rapidamente difundido nestas empresas.

A implantação do CEP auxilia na determinação das causas de variações do processo produtivo e na tomada de decisões pelas pessoas envolvidas no processo. A qualidade foi incorporada ao dia-a-dia da empresa e, justamente neste contexto, é que abordaremos a aplicação do CEP na indústria, através de uma análise crítica de onde e como aplicá-lo em prol de um bem comum (empresa e cliente). Já que, quando o CEP não é aplicado de forma correta (sem filosofia focada na qualidade), não se alcançam resultados satisfatórios, deixando processos e produtos aquém dos padrões internacionais de qualidade.

Por isso, justifica-se a importância deste trabalho devido aos seguintes fatores:

- Relevância técnica, pelo fato de que a metodologia proposta se materializa em melhoria do processo, sendo sustentado, operacionalmente, através da padronização das atividades;

- Relevância bibliográfica, pelo fato de que o tema carece de bibliografia, principalmente quando abordado sob a ótica de onde e como aplicar Controle Estatístico do Processo.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

O conceito de controle de qualidade é tão velho quanto à própria humanidade. Desde que o ser humano passou a manufaturar itens, tem havido interesse pela qualidade dos produtos. Aprendizes da idade média tinham que mostrar habilidade de produzir itens com qualidade para se tornarem oficiais.(Ramos, 2000).

Quando a produção era realizada em pequenas oficinas, usualmente por métodos manuais, havia poucos problemas de controle da qualidade. O proprietário era o responsável pela manufatura e tinha contato direto com cada item produzido.

Com o advento da produção em massa, esse tipo de contato pessoal se tornou impossível. O controle da produção se tornou critico e, na primeira metade do século XX, foram desenvolvidas técnicas quantitativas para assegurar o controle da qualidade. Essa abordagem quantitativa foi aplicada esporadicamente antes do início da década de 80. O aumento da competição internacional fez renascer o interesse por essa forma de medir e monitorar o processo de manufatura.(Burke, 1998).

2.1 O Controle Estatístico do Processo

O Controle Estatístico do Processo (CEP), por se tratar de um desses métodos, constitui-se basicamente num conjunto de técnicas e ferramentas estatísticas, organizadas de modo a proporcionar, através de suas aplicações, a manutenção e a melhoria dos níveis de qualidade de um processo. O CEP pode ser considerado uma ferramenta ou estratégia da qualidade dentre as diversas existentes, sendo, portanto, um dos caminhos para se atingir alguns resultados importantes para a organização. Com a utilização do CEP, os processos podem ser avaliados, reduzindo-se os desperdícios por meio de uma avaliação constante do processo (Schissatti, 1998).

O Controle Estatístico de Processo é, sem dúvida, uma das mais poderosas metodologias desenvolvidas, visando auxiliar no controle eficaz da qualidade do produto e seus processos produtivos, usando a estatística como ferramenta para analisar a capacidade e as limitações do processo.

No Brasil, o CEP vem sendo implantado em um número cada vez maior de empresas. Várias indústrias instaladas em território nacional, tais como as montadoras de veículos, utilizam o CEP em suas matrizes e em outras fábricas no exterior. Por intermédio destas experiências, sua eficácia ficou comprovada no monitoramento e redução de problemas nestas unidades. Contudo ainda há muito por fazer, em razão da potencialidade do CEP não ter sido ainda totalmente explorada. Novas aplicações com resultados aparecem diariamente, demonstrando sua versatilidade e importância para o aumento da competitividade das empresas industriais e de serviços (Ramos, 1997).

Vários exemplos de desenvolvimento de novas aplicações do CEP, tanto no setor industrial, agrícola e pecuário, como também em outros setores de serviços, podem ser citados para o monitoramento da qualidade.

Conforme Owen[1] (apud Schissatti, 1998), o Controle Estatístico de Processos é:

> *"considerado uma das formas de controle do processo preventivo. Resumidamente, constitui-se da utilização de técnicas estatísticas para se controlar o processo. Por técnicas estatísticas entendem-se a coleta, a representação e a análise de dados de um processo".*

A figura 03 mostra a abordagem sugerida por Owen para a aplicação com sucesso, do CEP.

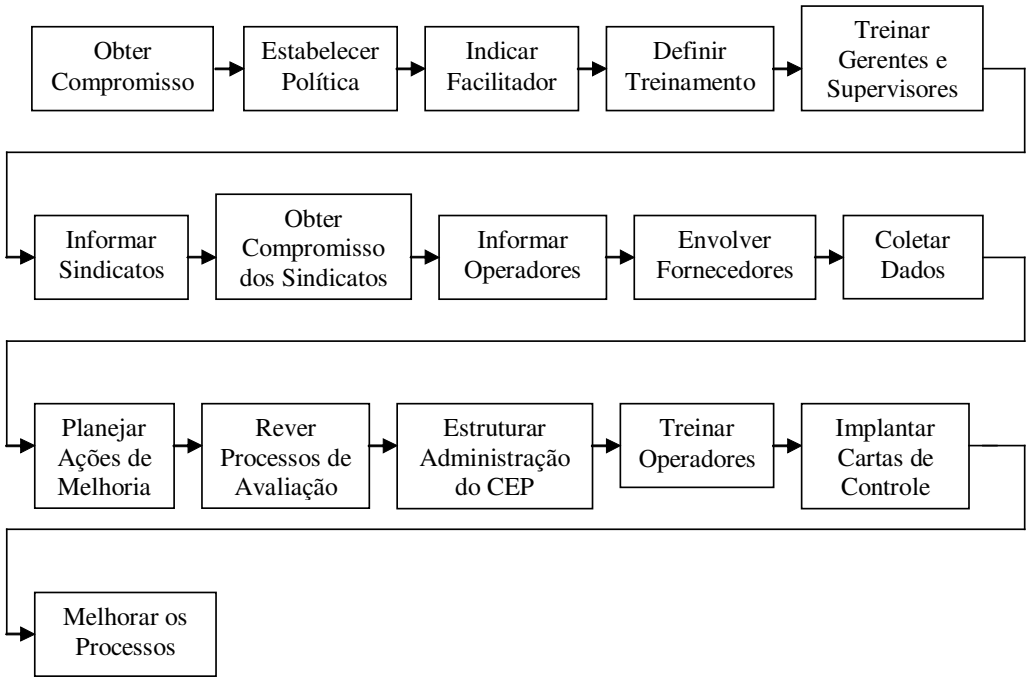


Figura 03- Etapas da abordagem Owen (1989).

[1] OWEN, Mal. SPC and Continuous Improvment. 1 ed. USA:IFS Publications, 1989.

2.2 A Variabilidade

As causas dos defeitos em produtos são universais. *"Variação: esta é a causa. O que acontecerá se fabricarmos produtos usando materiais exatamente com a mesma qualidade, máquinas e métodos de trabalho idênticos e o inspecionarmos exatamente da mesma maneira? Qualquer que seja a quantidade fabricada, todos eles deverão ser idênticos, caso as quatro condições anteriores sejam iguais. Isto é, os produtos serão todos conformes ou não-conformes (Kume, 1993)".*

Quando do surgimento de problemas, a ação deve ser no processo (causa) que gerou o defeito e não no produto (efeito) em si. Conforme ensina W. E. Deming: *"não se melhorou a qualidade através da inspeção. Ela já vem com o produto quando este deixa a máquina antes de inspecioná-lo"*.Vários autores, como Kume (1993), Ramos (1997), Montgomery (1997) e Vieira (1999) afirmam que todo processo está sujeito à variabilidade. Segundo Shewhart (apud Ramos (1997)), pode-se conceituar as causas das variações nos processos. Tanto aquela que ocorre dentro dos limites definidos pelo acaso e como aquela que está fora destes limites. Estando fora, ele acreditava que as causas pudessem ser identificadas, ou seja, elas seriam assinaláveis (Deming, 1990, Deming, 1997).

2.2.1 Causas Comuns

Uma causa comum é definida como uma fonte de variação que afeta todos os valores individuais do processo. É resultante de diversas origens, sem que nenhuma tenha

predominância sobre a outra. Um processo é dito sob controle, ou estatisticamente estável, quando somente causas comuns estiverem presentes e controladas.

2.2.2 Causas Especiais

As causas especiais, esporádicas, aleatórias ou, ainda, assinaláveis são fatores geradores de variações que afetam o comportamento do processo de maneira imprevisível, e não podem ser adequadamente explicadas, onde não se é possível obter um padrão.

A causa esporádica diferencia-se da causa comum pelo fato de produzir resultados totalmente discrepantes em relação aos demais valores.

Estas variações aleatórias são produzidas pelas interações entre mão-de-obra, máquinas, materiais e métodos. Exemplos de causas especiais são: desregulagem ocasional da máquina, um lote de matéria-prima com problema, quebra de uma ferramenta e outras.

O resultado líquido da variação é relativamente consistente ao longo do tempo. Por outro lado, juntando às causas aleatórias, há, ocasionalmente, fatores especiais que têm um grande impacto nas características do produto e estas causas, segundo Shewhart, poderiam ser identificadas (Deming, 1990, Deming, 1997).

Para ilustrar o que foi dito acima, a figura 04 apresenta um gráfico linear, onde estão sendo acompanhados os indicadores de defeitos. O gráfico mostra os efeitos nos índices devido às causas comuns e às causas especiais:

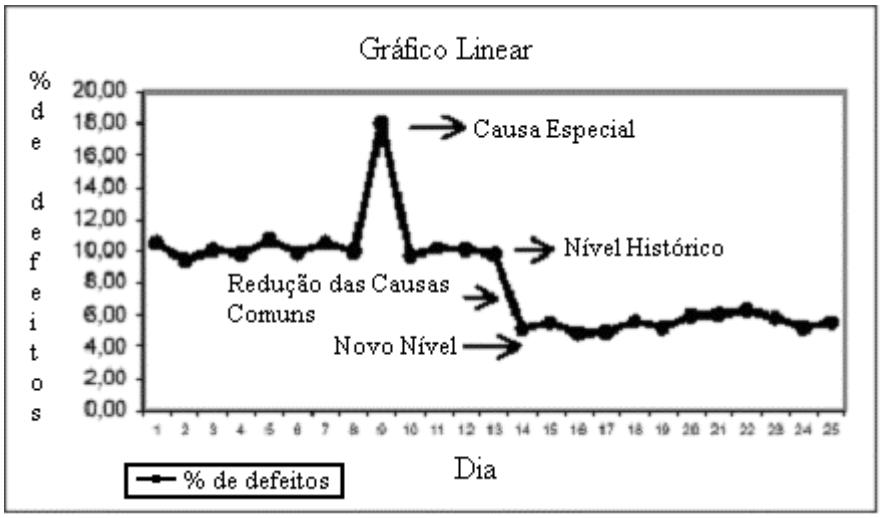


Figura 04- Causas comuns e causas especiais de variação. Fonte: Ramos (1997, p.191).

Deming[2] (apud Schissatti, 1998, p.14 de 23) afirma que:

> *"... segundo sua experiência, 94% dos problemas ou oportunidades de melhorias, estão relacionadas às causas comuns, enquanto apenas 6% às causas especiais. ...desta forma, é possível afirmar que a maior parcela de responsabilidade, quanto à redução de variabilidade, é da administração do processo, isto é, dos gerentes, engenheiros e técnicos que têm autoridade de mudar o sistema".*

Pode-se entender os resultados de qualidade de um processo produtivo como produto de um agregado de fatores que levam à variação. Um produto é considerado defeituoso caso não satisfaça as especificações determinadas.

[2] DEMING, W. Edwards. Qualidade: A Evolução da Administração. 1. edição. Rio de Janeiro: Saraiva, 1990.

Mas os defeitos podem ser reduzidos. Como afirma Kume, 1993, *"já que os defeitos são causados por variações, se estas forem diminuídas, eles também certamente diminuirão"*. Esta é uma afirmação poderosa, podendo nortear ações críticas de melhoria.

De acordo com Schissatti (1998), detectar possíveis variações que possam advir em um processo antes que estas acarretem mudanças significativas nos mesmos é um dos potenciais do CEP. Ações corretivas podem ser executadas no tempo correto de forma satisfatória, evitando produções defeituosas. Para isso o recurso estatístico utilizado no CEP fornece uma espécie de retrato do processo, que deve ser empregado para calcular, através da análise de tendência, o futuro do processo.

2.3 Ferramentas Básicas do CEP

Dentre as diversas ferramentas do CEP[3], os Gráficos de Controle são sem dúvida, as mais importantes. De acordo com Ramos (1997, p.192), eles possuem três objetivos básicos:

> *"a) Verificar se o processo estudado é estatisticamente estável, ou seja, se não há presença de causas especiais de variação.*
>
> *b) Verificar se o processo estudado permanece estável, indicando quando é necessário atuar sobre ele.*

[3] Os estudos de capacidade, histograma, diagrama de causa e efeito, gráfico linear, diagrama de dispersão são outras ferramentas utilizadas no CEP.

c) Permitir o aprimoramento contínuo do processo, mediante a redução de sua variabilidade".

As Cartas de Controle são muito utilizadas para separar causas comuns de causas especiais. A partir de uma média do processo, são estabelecidos dois limites, um superior e um inferior, distantes desta mesma média.

2.3.1 Gráficos de Controle

O Gráfico de Controle, ferramenta básica do CEP, é resultante do trabalho de Dr. Walter A. Shewhart, nos laboratórios da BELL, que dele se utilizou na década de 20. Posteriormente, foi empregado com sucesso nas indústrias japonesas, no período do pós-guerra, o que o levou a ser apontado como uma das razões pelas quais este país atingiu a liderança em diversos segmentos industriais.

Segundo Shewhart, todos os gráficos, também chamados de cartas de controle, têm as mesmas funções básicas e são preparadas e analisadas de acordo com o mesmo roteiro:

1. Emitir sinal da presença de causas especiais de variação, de tal forma que ações corretivas possam ser tomadas para trazer o processo para o estado de controle estatístico;

2. Fornecer evidência se o processo está operando em um regime de controle estatístico de tal forma que o cálculo da capacidade do processo de atender às especificações possa ser feito.

A partir do Gráfico de Controle, obtidas as informações gráficas, pode-se avaliar o comportamento de um processo. Um importante uso dos Gráficos de Controle é o de procurar tendências. Se estas surgirem, é um sinal que o processo está pior, então, valerá a pena investigá-lo. Da mesma forma, se a tendência está constantemente melhorando, ainda pode valer a pena investigá-lo, tentando identificar o que está fazendo este processo melhorar.

Pontos em um Gráfico de Controle que se encontram fora dos limites são uma razão óbvia para se acreditar que o processo está fora de controle. Portanto, deve-se investigar o processo, buscando-lhe as causas. Desse modo, o Gráfico de Controle passa a ser um instrumento de informações para que o gestor acompanhe e monitore o seu processo. (Slack, 1997).

Se todos os valores das médias do processo são locados dentro dos limites de controle, sem qualquer tendência especial, ele é considerado sob controle. Entretanto, se eles caem, ou seja, são plotados fora dos limites de controle, ou apresentam forma peculiar, o processo é considerado fora de controle. Estes limites são estabelecidos em 3 vezes o desvio padrão dos dados para cima da linha média e 3 vezes para baixo.

Desta forma, são garantidos 99,73% dos dados possíveis sob a curva normal. Existem vários tipos de Gráfico de Controle; gráficos para variáveis contínuas e para variáveis discretas. Para o caso de variáveis contínuas têm-se os gráficos $\overline{X}$ e R como os mais representativos. Neles são analisadas, conjuntamente, as variações das médias dos dados (gráfico $\overline{X}$), bem como da dispersão dos mesmos (gráfico R). No primeiro, trabalha-se com as médias das notas (como exemplo, as notas de um aluno em uma unidade ou das

notas de um aluno em uma ou mais disciplinas durante o semestre) e, especialmente, como estas médias se comportam ao longo do curso. Neste caso, trabalha-se com as médias amostrais para garantir a condição de normalidade através do Teorema do Limite Central, que diz que a distribuição das médias amostrais serão aproximadamente normalmente distribuídas, e tenderão a uma Distribuição Normal à medida que o tamanho da amostra crescer. Então quando se trabalha com uma variável original com uma distribuição muito diferente da Normal, tomam-se várias amostras desta distribuição, e então quando é feito um histograma das médias amostrais, a forma se parecerá como uma curva Normal.

- A Distribuição da Média Amostral, $\overline{X}$ é aproximadamente Normal com
  - Média: μ
  - Desvio Padrão: $\sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$ [2.1]

Onde μ e σ são a média e o desvio padrão populacionais das medidas individuais ***X***, e ***n*** é o tamanho amostral. Denotando-se:

$$\overline{X} \sim N(\mu, \sigma^2/n) \qquad [2.2]$$

A aproximação para a distribuição Normal melhora à medida que o tamanho amostral, (n) cresce. Este resultado é conhecido como o Teorema Central do Limite e é notável porque nos permite conduzir alguns procedimentos de inferência sem qualquer conhecimento da distribuição da população.

A figura 5 mostra uma curva normal, com as probabilidades para 2 e 3 desvios padrões à esquerda e à direita (acima e abaixo) da média.

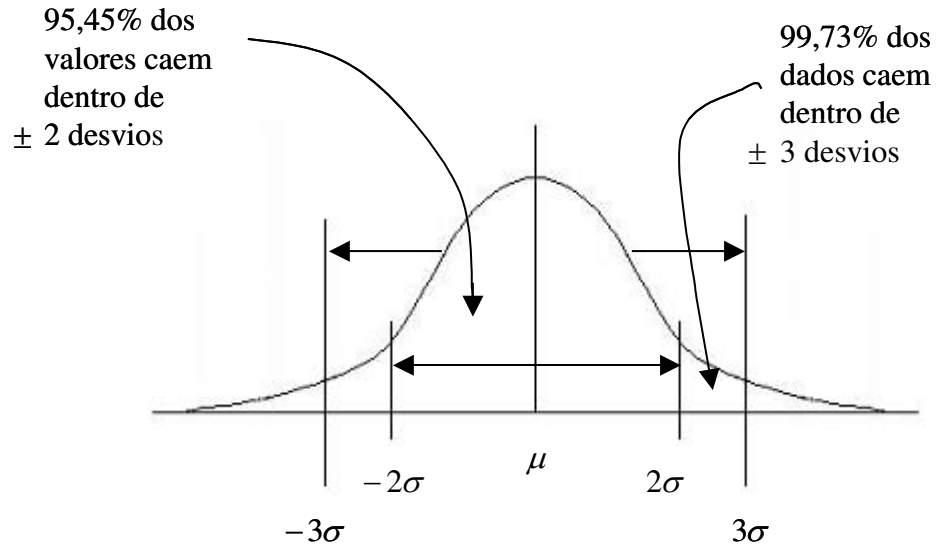


Figura 5 – Gráfico da Distribuição Normal - Montegomery(1991)

Já no gráfico R, as amplitudes médias amostrais representam a dispersão dos dados. Um importante gráfico de variáveis discretas é o gráfico que monitora a variação no percentual de defeitos de um processo.

2.3.1.1 Montagem dos Gráficos de Controle

Conforme Ramos (1997, p.193), para a geração de um Gráfico de Controle são necessários os seguintes procedimentos:

> *"... na prática, como não se conhece nem o valor da média e nem o do desvio padrão da população, torna-se necessário estimá-los (substituí-los) a partir das estatísticas fornecidas pelas amostras. No cálculo dos limites de controle e obtenção das amostras, as seguintes regras devem ser obedecidas:*

a) o desvio padrão utilizado deve ser estimado com base na variação dentro da amostra, não se aceitando nenhum outro tipo de estimador;

b) os gráficos sempre utilizam limites de controle localizados à distância de três desvios padrão da linha média;

c) os dados devem ser obtidos e organizados em amostras (ou subgrupos) segundo um critério racional, visando permitir a obtenção das respostas necessárias;

d) O conhecimento obtido através dos gráficos de controle deve ser empregado para modificar as ações conforme adequado."

Na figura 06 é mostrado um Gráfico de Controle para a média $\overline{X}$ já a figura 07 demonstra a variação do processo em um Gráfico R.

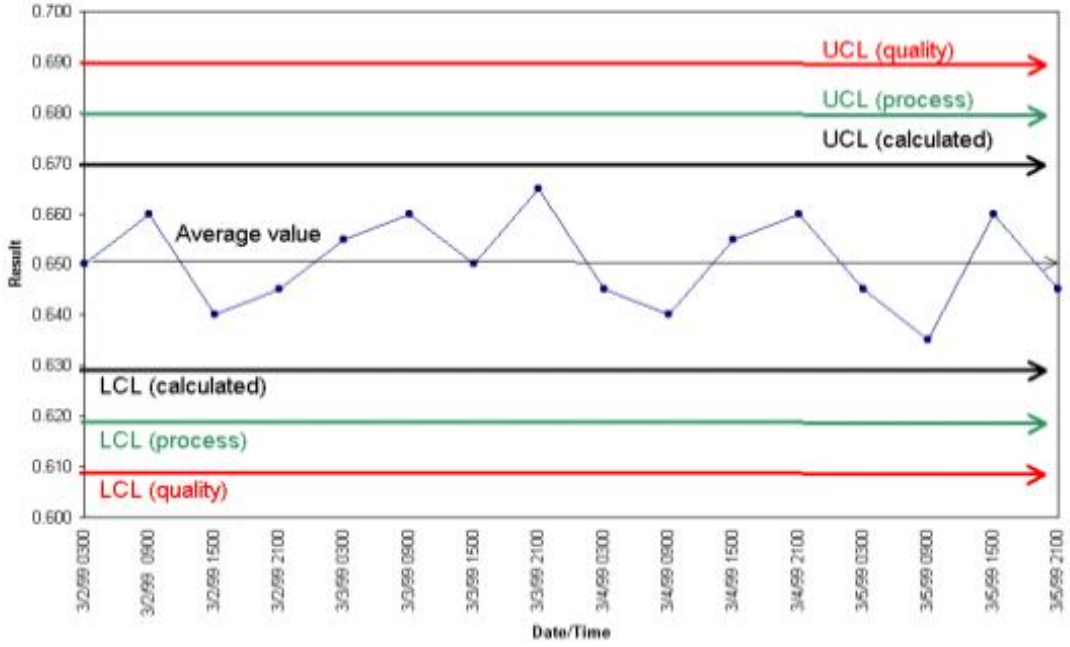


Figura 06 - Gráfico $\overline{X}$

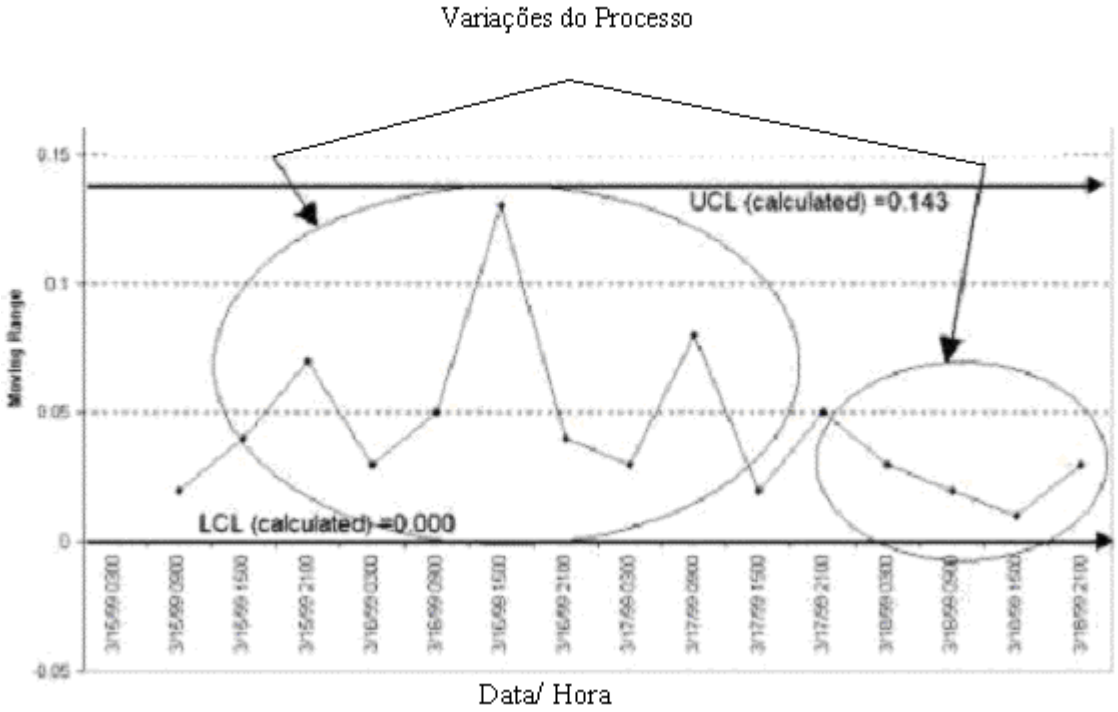


Figura 07 - Gráfico R

Inicialmente, para a montagem do gráfico, levantam-se os dados durante um certo período. Ramos (1997) propõe que o tempo de coleta de dados seja adequado ao que vai ser proposto e analisado e que, durante o período, possam aparecer os principais tipos de variação que serão avaliados.

Com o uso de computadores, a montagem dos Gráficos de Controle pode ser elaborada facilmente através de uma planilha eletrônica tipo EXCEL, ou mesmo através de Softwares Estatísticos como MINITAB e STATISTICA que possuem funções automáticas para este fim.

Talvez a técnica mais sofisticada dentre as Sete Ferramentas do Controle Estatístico da Qualidade seja a dos Gráficos de Controle.

Os Gráficos de Controle típicos exibem três linhas paralelas ao eixo ´x´:

- Linha Central: representa o valor médio do característico de qualidade exigido pela fábrica.
- Linha Superior: representa o limite superior de controle (LSC).
- Linha Inferior: representa o limite inferior de controle (LIC).

Uma vez apresentado o gráfico, os pontos devem permanecer dentro do intervalo determinado por LSC e LIC. Cada ponto representa uma amostra.

Para melhor visualizar a evolução da característica de qualidade ao longo do tempo, é freqüente unir os pontos por retas.

Os Gráficos de Controle apresentam, portanto, o desempenho do processo ao longo do tempo. Assim, o processo é dito estar sob controle quando:

- Todos os pontos do gráfico estão dentro dos limites de controle (LIC e LSC).
- A disposição dos pontos dentro dos limites é aleatória.

2.3.2 Classificação dos Gráficos de Controle

Existem 2 tipos de Gráficos de Controle, para variáveis e para atributos:

- Variáveis: referem-se a aspectos como peso, comprimento, densidade, concentração, etc.
- Atributos: estudam o comportamento de números e proporções.

A figura dos Gráficos de Controle muda de acordo com a natureza dos dados avaliados. Assim, os gráficos de variáveis registram as características mensuráveis do produto ou serviço - como peso, volume, dimensões, etc.; o gráfico da média ou $\overline{X}$ e o da amplitude, ou gráfico R, são os mais usados entre todos os tipos de Gráficos de Controle.

As características não mensuráveis - bom ou ruim etc. - são registradas nos gráficos de atributos, cujos principais gráficos são: gráfico *p*, que controla a fração defeituosa dos itens produzidos; gráfico *np*, derivado do gráfico *p*, controla a quantidade de artigos defeituosos num lote; gráfico *c* determina a não conformidade por item da amostra

avaliada; gráfico *u*, controla a quantidade média de defeitos por item e é uma modificação do gráfico *c*.

De acordo com a aplicação, os Gráficos de Controle dividem - se em:

Gráficos para Análise do Processo - indicam a influência dos recursos (materiais, mão-de-obra, ferramental, procedimentos operacionais, etc.) nas alterações que ocorrem no processo ao longo do tempo. Para determinar, por exemplo, os resultados de dois métodos de trabalho, separam-se os dados referentes a cada um e traçam-se gráficos individuais para cada método comparando a seguir os resultados; desse modo as diferenças entre os dois métodos são salientadas. O objetivo da análise do processo é determinar as causas da dispersão do processo.

Gráficos para Controle do Processo - indicam se o processo está sob controle estatístico e se a padronização usada nos procedimentos operacionais está mantendo o estado de controle projetado. As retas dos limites de controle permitem a visualização do comportamento das características monitoradas pelo gráfico; se estiverem dentro dos limites de controle, o processo continua em estado de controle, caso haja desvios, ocorreram modificações que devem ser retificadas para que o processo retorne ao estado de estabilidade.

O objetivo do controle do processo é identificar prontamente quaisquer anormalidades que ocorram ao longo do tempo, através da plotagem periódica dos dados observados (diária, duas vezes por dia, a cada hora, etc.), do monitoramento desse comportamento e da ação corretiva imediata.

Neste trabalho, será enfocado mais este segundo tipo de aplicação dos Gráficos de Controle; fazendo, entretanto, observações pertinentes à análise do processo sempre que seja oportuno.

2.3.2.1 Gráficos de Controle de Atributos

Há certas características de produtos ou serviços que não podem ser controladas através de medições. Nesses casos, as unidades produzidas são classificadas como aceitáveis ou inaceitáveis, conformes ou não conformes.(Não será abordado, em maiores detalhes, este tipo de Gráfico de controle, pois o mesmo não foi utilizado nesse trabalho).

2.3.2.2 Gráficos de Controle de Variáveis

São gráficos provenientes de medidas realizadas nos itens da amostra e que têm como resposta um valor numérico que possui um número grande de possíveis valores, que, para efeitos práticos, pode ser associado a uma escala contínua.

São exemplos deste tipo de Gráficos, aqueles vistos acima, $\overline{X}$ e R.

2.3.2.2.1 Interpretação dos Gráficos $\overline{X}$ e R

- ***Processo "sob controle estatístico":***

Diz-se que um processo está sob controle estatístico quando:

1. Todos os pontos estão entre os limites de controle superior e inferior e não seguem qualquer padrão especial (figura 08).

2. Há o mesmo número aproximado de pontos acima e abaixo da reta central do gráfico e a maioria destes pontos está próxima a ela, apesar de alguns poucos pontos localizarem-se próximo aos limites de controle (figura 08).

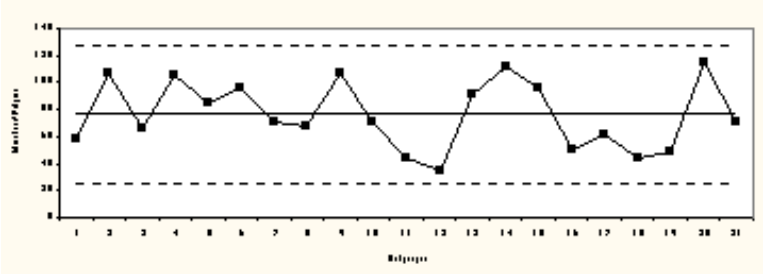


Figura 08 – Processo sob controle.

- ***Processo "fora de controle estatístico":***

O objetivo da análise das cartas de controle é identificar qual evidência de que a variabilidade ou a média do processo não estão operando num nível constante – que um ou ambos estão fora de controle – e tomar ações apropriadas. As cartas $\overline{X}$ e R, são analisadas separadamente, mas a comparação de padrões entre as duas cartas pode algumas vezes fornecer informações sobre as causas especiais que estão afetando o processo.

Diz-se que um processo está fora de controle estatístico quando:

1. Um ou mais pontos localizam-se além dos limites de controle superior e inferior (para tamanho de amostra igual ou maior do que 7 unidades, no caso do gráfico R) indica presença de causa especial que precisa ser identificada e corrigida ou eliminada.

2. Quando de 6 a 8 pontos estão acima ou abaixo da linha média, indica uma possível mudança na média (figura. 09).

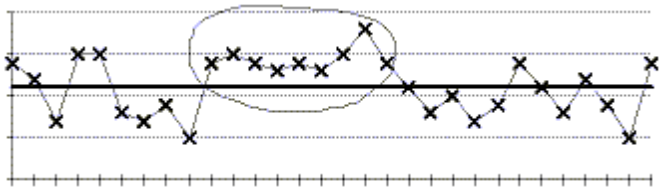


Figura 09 - Processo com alguns pontos acima da linha média.

3. Uma seqüência, crescente ou decrescente, de seis ou mais pontos indica a tendência de mudança da média (figura 10).

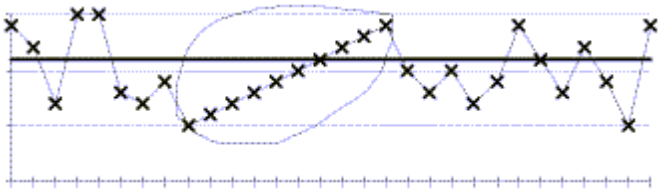


Figura 10 – Processo fora de controle com seqüência crescente dos pontos.

4. Uma seqüência de seis ou mais pontos de mesmo valor indica um arredondamento forçado ou deficiência dos instrumentos de medição (figura 11)

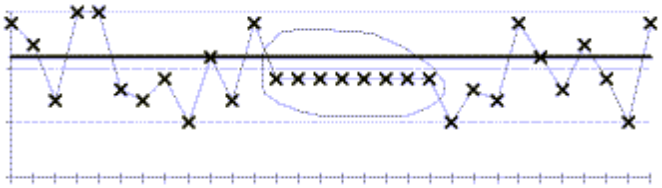


Figura 11 – Processo fora de controle com arredondamento forçado.

5. Uma seqüência de 14 ou mais pontos alternando-se acima e abaixo da reta da média indica discrepância de medidas ou medição “viciada” (figura 12).

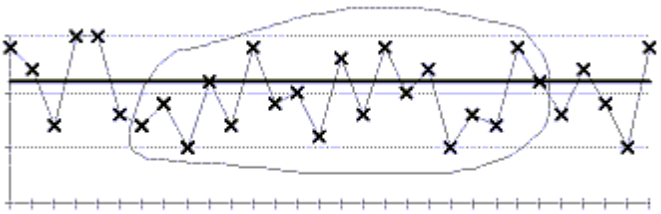


Figura 12- Processo fora de controle com medição ´viciada´.

- ***Melhoria do Processo Indicada pelo Gráfico R:***

1. Uma seqüência de seis ou mais pontos abaixo da amplitude média R-barra.

2. Um ou mais pontos abaixo do limite inferior de controle, no caso de tamanho de amostra igual ou maior do que 7 unidades[4].

[4] Pontos abaixo do limite inferior de controle ou uma seqüência de seis a oito pontos abaixo da reta central indicam a presença de causas especiais favoráveis que devem ser identificadas e usadas para melhorar o processo.

O CEP é baseado em amostras dos produtos e do banco de dados resultante das medições. Gráficos são feitos em função dos bancos de dados para ajudar na análise. A chave para operação dos cálculos e gráficos no CEP é a premissa de que a chance de que as variações inerentes ao processo afetarão todas as medidas e que serão estáveis com o passar do tempo.

Segundo Kume (1988), o mais importante no controle de processo é compreender o estado do processo com precisão, lendo o gráfico de controle e tomando medidas apropriadas prontamente quando alguma coisa extraordinária for encontrada no processo.

Segundo Doty (1990), as seis principais categorias de causas que tornam o processo fora de controle são as seguintes:

1. Material;
2. Erros de operação;
3. Erros do processo;
4. Erros de uso de ferramentas;
5. Erros de medição;
6. Erros de procedimentos ou métodos.

Mais uma das ferramentas do CEP é a análise de capacidade do processo:

2.3.3 Índices de Capacidade do Processo (Cp e Cpk)

A Análise de Capacidade é muito importante, pois permite ao especialista determinar a habilidade do processo em satisfazer as especificações e os limites de tolerância do processo, além de diagnosticar o estado de controle dos processos de produção, verificando se são ou não capazes de satisfazer as solicitações dos clientes.

Em outras palavras, a capacidade de um processo é a variabilidade mínima que pode ser alcançada depois que todas as causas especiais forem eliminadas. Assim, a Capacidade representa o melhor desempenho de um processo quando ele está operando sob controle estatístico.

- **Capabilidade (Cp) (Conhecido como Capabilidade de Máquina):** É uma medida do potencial do processo. Ela mede a capacidade do processo de atender as especificações se o mesmo estiver ajustado Definido como o intervalo de tolerância dividido pela capabilidade do processo, ou seja, 6 vezes o desvio padrão estimado considerando a ausência de causas especiais, como segue:

$$Cp = \frac{(LSE - LIE)}{6\sigma} \qquad [2.3]$$

Onde,

LSE = limite superior de especificação;

LIE = limite inferior de especificação;

σ = desvio padrão do processo.

Ao passo que a capacidade que um processo possui em produzir resultados aceitáveis, ou seja, variando dentro dos limites de Projeto (LIE e LSE) é denominada de Capacidade de Desempenho do Processo (Cpk). E é obtida da seguinte forma:

- **Limite Superior de Capabilidade (Cpu):** variação superior da tolerância dividida por 3 vezes o desvio padrão estimado pela capabilidade do processo.

$$Cpu = \frac{LSE - \overline{X}}{3\sigma} \qquad [2.4]$$

- **Limite Inferior de Capabilidade (Cpl):** variação inferior da tolerância dividida pela dispersão superior real do processo.

$$Cpl = \frac{\overline{X} - LIE}{3\sigma} \qquad [2.5]$$

- **Capabilidade (Cpk) (Conhecido como Índice de Capacidade ou de Performance): -** É uma medida de performance do processo, é a capacidade atual do mesmo. Ela considera, se o processo está com uma dada dispersão e a média atende as especificações levando em conta a centralização do processo e é definido como o mínimo entre Cpu e Cpl.

$$Cpk = \min(Cpu, Cpl) = \min\left(\frac{LSE - \overline{X}}{3\sigma}, \frac{\overline{X} - LIE}{3\sigma}\right) \qquad [2.6]$$

onde, $\overline{X}$ = média do processo;

σ = desvio padrão do processo.

Esses índices são de extrema importância para o profissional que trabalha no desenvolvimento de produto por duas grandes razões. Nas fases iniciais de projeto, a avaliação de séries históricas dos Índices de Capabilidade obtidos de peças similares pode permitir que os processistas e projetistas escolham processos e especificações dos produtos coerentemente adequadas, garantindo a obtenção de características do produto por meio de processos altamente capazes estatisticamente. Outra importante aplicação desses Índices no desenvolvimento de produto é durante a homologação do processo. Nesta etapa os índices podem ser utilizados para avaliar a capabilidade do processo, identificando processos problemáticos a tempo de correções antes da entrada em linha de produção (Owen, 1989)

2.3.3.1 Interpretação dos Índices

Segundo Burke (1998), o índice Cp preocupa-se com a centralização do processo, isto é, com a média estimada do processo $\overline{X}$ em relação aos limites de especificação. É importante lembrar que o valor de Cp não significa porcentagem fora de especificação, é simplesmente um índice de capacidade.

Se Cp = 2,0, o processo é capaz. A faixa de especificação é duas vezes mais ampla que a dispersão.

Se Cp = 1,0, o processo é marginalmente capaz. A faixa de especificação é a mesma que a faixa de dispersão.

Se Cp < 1,0, o processo NÃO é capaz. A faixa de especificação é menor que a faixa de dispersão.

Segundo Montegomery (1991), alguns valores entre Cp = 1 e Cp = 2, são sugeridos:

Num processo já existente, o valor mínimo recomendado é de 1,33 e para processo novos, o valor sugerido é de 1,5.

O índice Cpk mede quantos 3 desvios padrões estão situados em relação ao intervalo entre a média do processo e um dos limites especificados. Quanto maior o Cpk maior a dispersão do processo ou maior o afastamento da média do processo em relação ao alvo. Segundo a ASQC, o valor mínimo para o Cpk é de 1,33.

Se Cpk = 2,0 o processo é capaz e está usando apenas 50% da especificação;

Se Cpk = 1,33, o processo é capaz. (muitas empresas têm estabelecido este valor, como mínimo)

Se Cpk = 1,0, a capacidade do processo é marginal e;

Se Cpk < 1,0, o processo NÃO é capaz

Desta forma, tem-se que:
$$\begin{cases} \pm 3\sigma : Cp, Cpk \geq 1 \\ \pm 4\sigma : Cp, Cpk \geq 1{,}33 \\ \pm 5\sigma : Cp, Cpk \geq 1{,}67 \\ \pm 6\sigma : Cp, Cpk \geq 2 \end{cases}$$

2.4 Seis Sigma (6σ)

Definindo em poucas palavras, o 6-Sigma consiste na aplicação de métodos estatísticos a processo empresariais, orientados pela meta de eliminar defeitos. A maioria das empresas opera no nível 3-Sigma, o que equivale a 35 mil defeitos por milhão de oportunidades de haver defeitos. O nível 6-Sigma gera apenas 3,4 defeitos por milhão (Werkema, 1998).

2.5 O Controle do Processo

Controlar um processo é, sobretudo, controlar a qualidade deste. Juran (1993, p. 149-150) define controle de qualidade como um processo gerencial composto pelas seguintes etapas:

- Avaliação do desempenho real da qualidade;
- Comparação do desempenho real com as suas metas;
- Atuação nas diferenças entre desempenho real e metas.

Logo, o conceito de controle é o de manter o *status quo*, isto é, de manter o processo em seu estado planejado com o intuito de que ele continue capaz de atingir as suas metas planejadas, tornando, na manutenção dos níveis de qualidade, ou metas definidas para um processo, o desafio estipulado para o controle. A prática do controle pode ser melhor entendida através da figura 13*:*

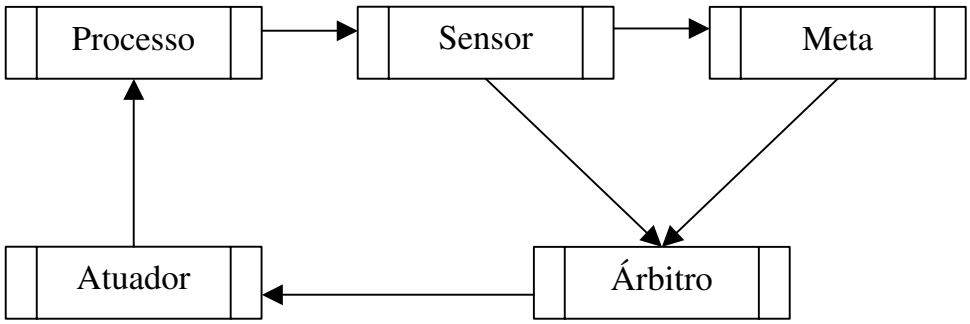


Figura 13- Alça de *feedback* (JURAN, 1993, p. 150).

O controle, na abordagem da figura 13, é realizado de acordo com os seguintes eventos:

- Se o processo fornece produto e um sensor mede o desempenho deste;
- Se um árbitro observa o desempenho e o compara a uma meta padrão;
- Se a diferença justificar uma ação, o árbitro aciona o atuador;
- Se o atuador executa as ações necessárias para ajustar o desempenho do processo aos valores desejados.

Desta forma, pode-se inferir que o controle visa garantir a qualidade do produto através de um conjunto de atividades executadas sobre o processo.

A habilidade de uma empresa em reconhecer a importância das novas informações externas, assimilá-las e usá-las para fins comerciais é crítica para sua capacidade de inovar e é chamada por Cohen e Levinthal (1990) de 'Capacidade de Absorção'. Esta habilidade está fortemente relacionada ao nível de envolvimento anterior da empresa com conhecimentos relacionados às novas informações a que tem acesso. Além da capacidade

acumulada em um período permitir uma absorção mais eficiente no período seguinte, ela permite também que a empresa avalie, de forma mais precisa, a natureza e o potencial dos avanços tecnológicos, diminuindo a existência de expectativas que dificilmente serão cumpridas.

A capacidade de absorção de uma organização depende do quanto seus membros estão capacitados. Seu desenvolvimento só pode se dar em cima de investimentos anteriores nas capacidades individuais. Deve existir um nível mínimo de conhecimento compartilhado por todo o grupo, para que a comunicação entre as pessoas que monitoram o conhecimento externo e seus possíveis usuários seja possível. Além disso, Salerno (1994) alerta para o fato de que em toda inovação deve haver, desde o início, o envolvimento das pessoas cujo trabalho será afetado, para diminuir a distância entre o projetado/desejado e a realidade, já que não é possível prever todos os imprevistos a que está sujeito o processo.

Como visto no capítulo anterior, o CEP prega em termos simples o controle da qualidade conduzido simultaneamente com a manufatura (controle do processo). Ao invés da inspeção, após a produção em que se separam os produtos bons daqueles que são defeituosos (controle do produto). Seu enfoque está na prevenção de defeito ou erros. É muito mais fácil e barato fazer certo na primeira vez do que depender de seleção e retrabalho de itens que não sejam perfeitos.

O bom desempenho de um processo em termos de qualidade e produtividade depende de dois fatores: a forma pela qual ele foi projetado e como ele é operado.

Uma combinação origina as possibilidades e descrições de cada um dos estados a seguir (Chambers e Wheeler, 1992):

1º. O Estado Ideal.

Neste caso o processo é consistente, ou seja, está sob controle, e, além disso, está produzindo com 100% de conformidade. Para Hunt, (1987, 1986), o processo poderá atingir este estado ideal – que não é o fim da linha - se por obedecer a quatro condições:

> *1º. O processo deve ser inerentemente estável ao longo do tempo.*
>
> *2º. O fabricante deve operar o processo de forma estável e consistente. As condições operacionais não podem ser selecionadas ou mudadas arbitrariamente.*
>
> *3º. A média do processo deve ser fixada e mantida em um nível apropriado.*
>
> *4º. A dispersão natural do processo deve ser menor do que a tolerância especificada do produto.*

Qualquer destas condições não obedecidas poderá implicar na não confiança pelo fabricante de estar embarcando produtos em conformidade.

2º. Estado Entrópico Inicial

Neste segundo estado possível, o processo apresenta uma razoável situação de controle, entretanto, uma parcela dos "outputs" encontra-se fora de especificações. Dia após dia, a variação inerente ao processo é constante, e o fabricante pode até predizer a quantidade de itens não conformes por unidade de tempo.

3º. Iminência do Caos

Neste terceiro estado, 100% dos produtos estão conformes, porém o processo está fora de controle estatístico. Para muitas pessoas esta combinação é difícil de ser compreendida porque elas pensam que, se o processo está produzindo dentro das especificações, então está tudo ótimo.

Parcialmente elas estão corretas, pois enquanto prevalecer esta situação, nenhuma peça embarcada estará fora de especificações.

Porém, como o sistema é instável, estando sujeito a causas assinaláveis, há forças que continuamente tendem a mudar as características dos produtos. Estes efeitos ocorrem devido a mudanças no processo que aparentemente ocorreram em intervalos aleatórios. Estas mudanças no processo acabam levando à produção de eventuais itens não conformes. "O produtor de repente descobre que está em apuros, mas não tem a menor idéia de como chegou lá, ou de como sair desta situação" Chambers e Wheeler, (1992), Hunt, (1987), Hunt, (1986). Sair do limiar do caos exige a eliminação das causas assinaláveis e isto requer as Cartas de Controle.

4º. - O estado de caos

Nesta quarta possibilidade, o processo está fora de controle estatístico e produzindo alguns produtos não conformes. Devido à falta de controle, o nível de não conformidade do fluxo de produtos é imprevisível. A existência do problema é liquida e certa para o fabricante, contudo a solução não é trivial. Além disso, os esforços para corrigir o problema são frustrados pelas mudanças aleatórias no processo. Quando é feita uma mudança

necessária, seus efeitos acabam tendo uma curta duração em função das causas assinaláveis. Quando se faz uma mudança indevida, as mudanças fortuitas devido às causas assinaláveis podem levar o fabricante à desorientação Chambers e Wheeler, (1992), Deming, (1997), Deming (1990), Hunt (1986), Montgomery, (1991).

A figura 14 apresenta-se de uma forma simplificada de um processo 'sob' e 'fora' de controle descritos anteriormente:

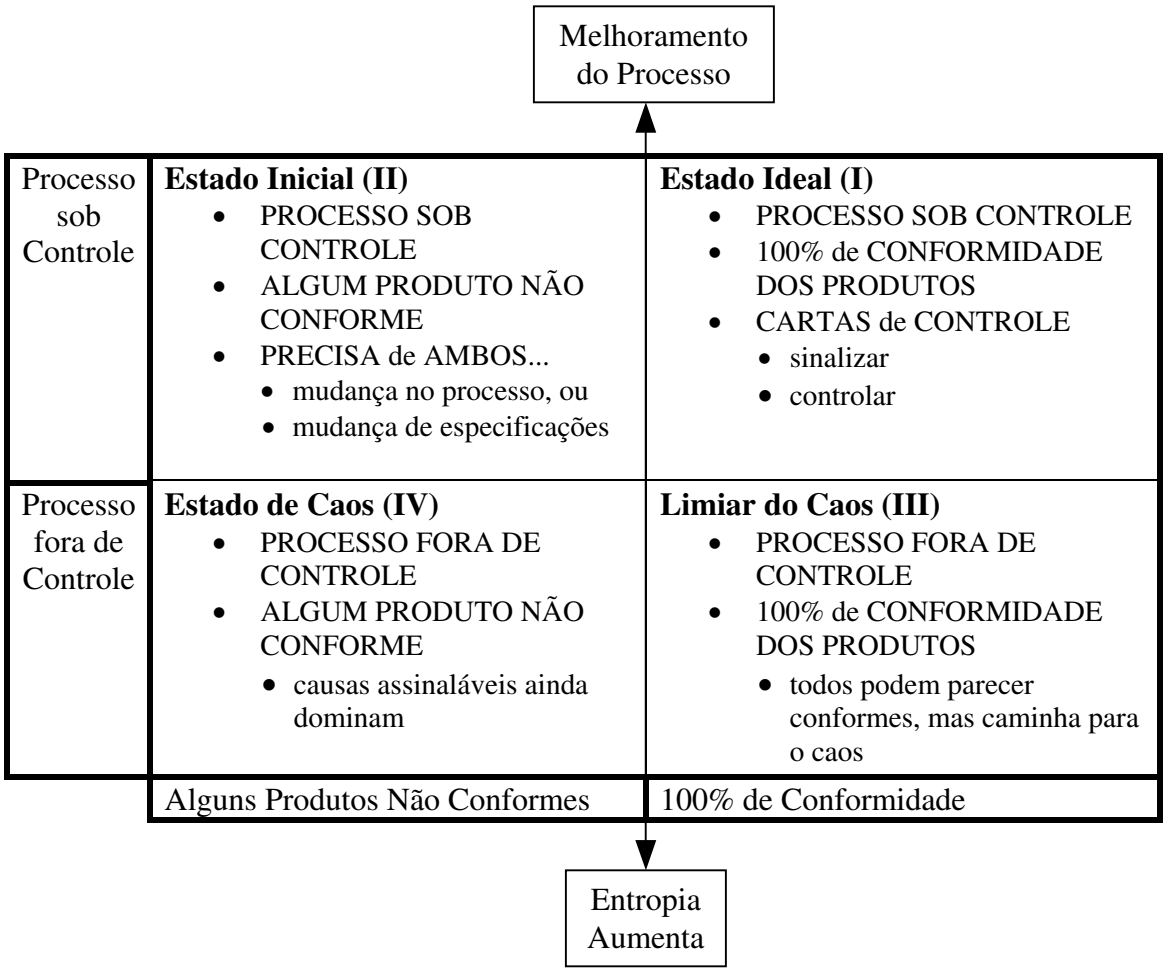


Figura. 14- Estados possíveis de controle (adaptado de Chambers e Wheeler, (1992).

Enquanto as causas assinaláveis estiverem presentes os esforços de melhoria poderão ser em vão O único caminho para retirar o processo do estado de caos é a eliminação destas causas. E isto, certamente, requer o uso de Cartas de Controle.

2.6 O CEP Hoje

Hoje, o Controle Estatístico do Processo (CEP) é a forma mais racional e garantida de controlar a fabricação em série de peças boas. Deixa-se de inspecionar as peças fabricadas e controla-se o processo, garantindo-se a fabricação.

Na prática, o CEP, em muitas empresas, é constituído por um amontoado de Cartas de Controle que servem para enfeitar as "paredes" das máquinas e representam casos de insucesso de um programa de CEP oriundos de diversas falhas, acontecidas no planejamento, na implantação ou mesmo na má utilização dessa ferramenta. Estas não conformidades, cuja intensidade varia de uma organização para outra, são referentes à cultura de cada corporação, o que gera resultados diferentes de uma empresa para outra.

Werkema (1996), Vieira (1995) e Owen (1989) se atêm aos aspectos estatísticos relacionados ao CEP. O material disponível na literatura que aborda a questão das variáveis que afetam a prática efetiva do CEP é escasso.

Sob o ponto de vista didático, segundo estes mesmos autores, as variáveis que induzem à falha em um programa de CEP foram conceituadas como erros e esses classificados em 3 tipos:

- Erros associados ao planejamento e implantação do CEP: são aqueles decorrentes da fase de definição de objetivos para implantar o CEP e da própria implantação.

- Erros associados ao gerenciamento do CEP: são aqueles cometidos na utilização das cartas de controle.

- Erros estatísticos: são aqueles cometidos na definição e aplicação da técnica estatística.

Erros associados ao planejamento e implantação englobam, aqueles ocorridos durante o estabelecimento dos objetivos, ou, na elaboração das estratégias de implementação e conseqüente na execução dos planos. Não obstante, existem diversas formas de se planejar a implantação do CEP.

Ainda de acordo com Schissatti (1998), é importante que o planejamento advenha dos objetivos, delineados previamente, a fim de evitar que objetivos incorretos conduzam a resultados indesejáveis. Por isso, a não definição clara dos objetivos do CEP pode fazer com que outros erros sejam cometidos durante o planejamento e implantação.

Tal ocorre a muitas organizações que, por não definir os objetivos do CEP, não têm delineado claramente os motivos que levaram a sua implantação. Dentre esses, estão, a pressão externa feita por parte de seus clientes, a qual, deveria ser utilizada como motivação para se delinear a razão, e os reais propósitos de optar pela implantação do CEP.

Não dominar os conceitos, muitas vezes, acarreta a formação de expectativas que vão além daquelas que o CEP pode suprir, gerando uma das mais graves causas de

insucesso do Controle Estatístico de Processo, bem como a frustração com os resultados não obtidos.

Muitos gestores consideram o CEP a salvação da qualidade na manufatura, influenciando as empresas a se decidirem pela sua implantação. No entanto, ele é apenas um dos métodos de gerenciamento da qualidade e depende de uma série de fatores: pessoal, cultura da organização, competência técnica, dentre outros. Desta forma, o CEP tem limitado o seu potencial de atingir resultados, pois, a compreensão desses limites está ligada ao domínio que se tem dos conceitos.

Um erro típico advindo da não dominância conceitual é acreditar que será possível, para todo e qualquer tipo de processo, controlar apenas as suas variáveis. A prática mostra, que é necessário observar, também, características do produto. O controle das variáveis do processo muitas vezes não é suficiente pelas seguintes razões:

1. O número de variáveis do processo associado a uma única característica de qualidade do produto pode ser elevado e/ou

2. Não são conhecidas todas as variáveis do processo que afetam a característica do produto em questão.

Um outro erro é acreditar que as Cartas de Controle detectam mudanças nos processos quando, na verdade, elas podem apenas sinalizá-las. A capacidade de detecção está associada à análise destas Cartas, bem como a de sua interpretação e também a dos erros estatísticos a elas associadas.

Também concluir que o CEP, por si só, pode reduzir custos através da melhoria de índices de qualidade, tais como reprocesso e sucata, é um engano: ele pode reduzir custo quando direcionado a esta função.

Não cabe, então, acreditar que todas as características de qualidade podem ser controladas através do CEP.

Um erro muito comum é selecionar aleatoriamente, sem critérios definidos, as características de qualidade a serem controladas com o CEP (Shainin, 1992, p. 256).

Algumas vezes, as características são determinadas pelos clientes, os quais conhecem pouco sobre o processo do fornecedor. Outras vezes, o próprio fornecedor seleciona as suas características sem avaliar se as mesmas podem ser controladas. Isso é um erro grave e, não raro, gera um rápido descrédito ao CEP.

Um número elevado de Cartas de Controle pode resultar da seleção não criteriosa de algumas características de qualidade. Conseqüência mais comum: por não haver, comumente, fôlego gerencial para se controlar tantas características e, não sendo obtidos os resultados desejados com o CEP, as Cartas de Controle, logo, acabam por funcionar como "papel de parede".

Em princípio, o CEP pode ser aplicado em qualquer processo, mas para tal é necessário que este permita que ações corretivas sejam executadas sobre o mesmo, pois, de outra forma, não se tem um sistema de controle preventivo. Para que o CEP seja utilizado é necessário que o processo permita a execução de ajustes, regulagens e outras ações.

Quantificar a variabilidade do processo não é suficiente para se conferir eficiência ao CEP, tornando-se indispensável comparar a sua variabilidade com as especificações do produto ou do processo. No entanto, se as tolerâncias especificadas forem mais apertadas que o necessário para o adequado funcionamento do produto ou do processo, muitos esforços podem ser despendidos na tentativa de tornar os processos capazes de atender a estas especificações (Shainin, 1992, p.256). Isso acarreta descrédito ao programa justamente em razão dos excessivos esforços despendidos para tornar o processo capaz e não obtê-lo.

Nadler et al. (1994, p. 135) destaca que um diagnóstico da cultura da organização é fundamental antes de se implementarem programas que tenham sido bem sucedidos em outras organizações, pois não há empresas iguais em termos de história, cultura e prioridades estratégicas. E justamente este constitui um erro que pode fazer com que um programa de CEP malogre, ao se copiar um programa de implantação de uma outra empresa sem que o mesmo seja adaptado à sua realidade e sem dar importância ao fato de que cada organização tem sua própria cultura e que cada uma dessas apresentam fatores que tanto podem dificultar ou facilitar a implantação do programa.

Tendo a compreensão de que o CEP exige que sejam feitas mudanças nas posturas, atribuições e atitudes das pessoas, torna-se imperativo que as resistências naturais a qualquer novidade sejam adequadamente tratadas, pois uma organização que não se disponibilize às inevitáveis mudanças de paradigmas faz com que a resistência às novas metodologias cresça, atrasando o processo.

Desta forma, o CEP não deve ser implantado e não logra êxito numa organização que esteja despreparada no que tange à produção com qualidade, visto que o CEP, para este tipo de organização, agrega mudança cultural, comportamental, de atribuições de responsabilidades e atitudes. E, sob este aspecto, o maior erro é não abordar a implantação deste controle como um processo de mudança cultural.

Em algumas organizações existe uma resistência natural à aplicação de ferramentas e metodologias de gestão da qualidade. Um fato que ocorre com freqüência, sobretudo quando está se iniciando um programa novo de qualidade, é a transformação das metodologias (simples) em complicadas ferramentas, suscitando transtornos.

E, quanto mais complicadas forem, maior tende a ser essa resistência, quando, justamente, o ideal seria contar com pessoas que se utilizam das Cartas de Controle com naturalidade. Tornar os métodos e técnicas do CEP complicados, repercute, em geral, nos programas de treinamento a ele associado. Um bom indicador para se avaliar o quanto estão sendo complicadas as ferramentas e técnicas do CEP é a linguagem utilizada nos treinamentos.

2.7 O CEP a Longo Prazo (Dificuldades)

Como já visto anteriormente, uma das bases para a implantação do CEP é o ambiente adequado para a qualidade. Esse tipo de comportamento é denominado por Owen como "Gerenciamento pelo Medo" (Owen, 1989, p. 333).

É importante ressaltar que o comprometimento com o programa de CEP, deve ser de longo prazo (Owen, 1989, p. 330). Isto significa que é um processo de mudança cultural e comportamental e não de coação para implementação.

O comprometimento real dos operacionais é essencial para que o CEP seja efetivamente implantado, haja vista, que irá mudar significativamente as atribuições e modos de trabalho dos operadores, aumentando a oportunidade de implantação efetiva do controle de acordo com o envolvimento deles (isto deve ter sido previsto dentro do plano de implantação).

O envolvimento adequado preconiza que as habilidades dos operadores em prestar auxílio e melhorar sistematicamente os processos não sejam subestimadas (Owen, 1989, p.332).

Isso denota que as pessoas que utilizam os recursos estatísticos na fábrica podem contribuem diretamente para a melhoria dos processos e, nesse sentido, o CEP pode se tornar também um meio de agregar um pouco mais de valor às atividades das pessoas, tais como são os programas de Círculos de Controle da Qualidade – CCQ.

Quando os objetivos que levam à implantação do CEP não são consistentes, diversas dificuldades podem surgir em conseqüência de um plano destinado a atingir outros objetivos que não a redução da variabilidade. Ocasionalmente, algumas etapas deste plano podem ser executadas numa seqüência inadequada. Por exemplo, um *software* gerenciador do CEP pode ser adquirido antes que se definam as características de controle, ou que seja fornecido qualquer treinamento, ou que tenha sido obtido o comprometimento suficiente dos responsáveis pelas áreas onde o CEP será implantado (Owen, 1989, p. 329-330).

Planos inconsistentes apresentam geralmente algumas características, dentre elas:

- O treinamento em CEP não organizado e direcionado por função ou cargo;
- Não existem etapas de avaliação do andamento do programa (análise crítica);
- Não existem facilitadores indicados para prestarem suporte;
- Não estão definidas as metas em termos de processos a serem controlados.

Desta forma, um plano que acarrete, na implantação do CEP, poucas características da qualidade - resultados de um aprendizado coerente que resulte na redução da variabilidade – mostra-se mais adequado do que inserir irrefletidamente e sem sustentação de resultados as Cartas de Controle.

Kane (1989, p. 73) destaca que esta tem sido uma das principais falhas cometidas na implantação do CEP. Como qualquer projeto que envolve uma gama relativa de recursos, ele necessita de um acompanhamento formal e essa responsabilidade deve ser atribuída às pessoas que têm poder de decisão dentro da organização.

Em determinadas empresas, quando as metas da fábrica passam por momentos críticos, é comum que se direcione e se concentrem esforços para deles sair, utilizando métodos tradicionais de gerenciamento que deixam em segundo plano os chamados

projetos de qualidade; demonstram assim o quão pouco consistente estão sendo utilizados seus planos de implementação e as conseqüentes mudanças que estas demandam.

É necessário ter em mente que este controle apresentará resultados consistentes a longo prazo. Sem este entendimento, a frustração com o programa, será inevitável, tornando-se inútil às empresas que visam apenas os resultados em curto prazo.

Um outro aspecto a ser levado em consideração para o êxito do CEP é sua informatização, os *softwares* agilizam o uso das Cartas de Controle e seu gerenciamento. Contudo, esta tecnologia deve dominar consistentemente as técnicas e ferramentas de controle de processos, a fim de evitar uma rede de sistemas de medição interligados onde não tenha havido a prática de controle preventivo, significando desperdício de recursos.

Com relação a problemas de qualidade, tendo em vista que o CEP se volta mais ao processo do que para o produto, cabe ao sistema de controle - que envolve as cartas, as pessoas, as ações corretivas - avaliar os índices de ocorrência de produção defeituosa, averiguando e analisando criticamente causas e conseqüências, buscando solução para eventuais falhas. Tais atitudes são importantes a fim de evitar que a acomodação, o medo às novidades e a sua assimilação, entranhem no sistema, o qual, para ser e se manter eficiente, é preciso que sejam continuamente implementadas melhorias.

Paladini (1995, p. 168) afirma que o objetivo central do CEP é conhecer o processo. E conhecer o processo é fundamental para que a implantação seja bem sucedida da mesma forma que seu gerenciamento seja efetivado e realizado por pessoal competentemente treinado e não delegá-lo às pessoas que sejam alheias a eles, como aquelas que ocupam cargos nos departamento de Garantia da Qualidade. Schonberger (1988, p.27) afirma que:

"... nas mãos de especialistas de garantia da qualidade, o CEP é apenas mais uma técnica ineficiente. Quando utilizada como deve, como uma ferramenta básica do operador, o CEP torna-se uma das mais importantes armas do arsenal Fabricação Classe Universal (FCU)."

Para o CEP, o importante seria implantar a Carta de Controle, ao invés de se reduzir a variabilidade, constituindo o erro comum de priorizar a ferramenta em prejuízo dos resultados, erro que advém do desconhecimento ou estabelecimento inadequado dos reais objetivos do programa e que remete à questão do enfoque centralizado. Juran (1993) relata que:

> *"... como veio a ser, a maior parte das aplicações nas empresas dirigiam-se às ferramentas em vez de dirigirem-se aos resultados. Como os contratos governamentais pagavam tudo, as empresas não podiam perder. No tempo devido, os contratos do governo acabaram, e os programas de CEQ foram reexaminados do ponto de vista da efetividade de custo. A maioria deles fracassou no teste, resultando em cancelamentos."* (JURAN, 1993, p. 7)

Capítulo 3

Procedimento Metodológico

Para atingir os objetivos deste trabalho, utilizou-se do método de estudo de caso dentro da empresa Auto Peças S.A., onde o Controle Estatístico do Processo (CEP) era realizado a partir de uma abordagem estatística bastante simples, que nos permitia distinguir as causas comuns das causas especiais de variação dos nossos processos.

3.1 O Problema

As análises realizadas, nos últimos anos, não levaram a uma conclusão técnica quanto à definição da característica a ser controlada através do CEP, pela empresa, na fabricação de volantes de automóveis.

3.1.1 Medidas Preventivas de Qualidade – O Estudo:

Em função de exigências dos clientes, vinha sendo adotado como característica de controle estatístico, a variável que aqui será dado o nome de 'Batimento Axial'. Após

algumas análises, estas indicaram que uma redução nos problemas, através da estabilização desta característica dimensional, era recomendada.

Antes da implantação do CEP, esta empresa já possuía e passava por rigorosos testes de qualidade. Porém, estes testes eram realizados sobre o que não gerava confiabilidade e pior, nem garantia a qualidade da remessa produzida. Ou seja, os testes realizados faziam parte do FPI (*Finished Product Inspection*) e consistiam em testes físicos e de inspeção visual, gerando o IQM (Índice de Qualidade de Manufatura) e o IQP (Índice de Qualidade de Produto). A partir do último trimestre de 1998, difundiram-se conceitos inerentes ao CEP, preparando a filosofia para sua implementação.

3.1.2 Análise da Situação Atual (antes do estudo)

Motivado pela solicitação do cliente em controlar uma característica, nem sempre representa controlar estatisticamente um processo. Erro este, que levou a empresa Auto Peças S.A., a controlar uma característica que não representava estatisticamente o processo de fabricação. Após análises realizadas sobre o CEP na aplicação do Batimento Axial nos volantes de poliuretana, encontrou-se o seguinte ambiente:

- Número excessivo de cartas de controle (400);
- Processos Estatisticamente Estáveis (Cpk ≅ 1,67);
- 3 operadores desmotivados.

Logo, de acordo com o cenário apresentado acima, concluiu-se que a aplicação da ferramenta não estava trazendo retorno financeiro para a empresa, tão pouco motivação para seus funcionários.

3.2 Implantação do Projeto

Com base nas características apresentadas acima, optou-se juntamente com os operadores de CEP, homens da qualidade e os líderes de produção, pela interrupção do Controle Estatístico da característica Batimento Axial nos volantes em poliuretana, transferindo então, os recursos utilizados anteriormente para a implementação de um novo projeto.

Vários testes foram feitos e, ao se analisar o processo de produção do volante na etapa de fundição da estrutura do volante, constatou-se o seguinte:

- Havia risco de acidente pela projeção de alumínio e magnésio durante este processo e, também;
- A necessidade de controle da **Altura do Cubo do volante**. (a cavidade do molde de injeção de Poliuretana/Volante, quando varia a altura do cubo, danificava o fechamento do molde do volante, gerando tempo de parada da produção e diminuição da capacidade de produção da fábrica).

Assim, o novo projeto deveria se concentrar em controlar estatisticamente esta nova variável chamada de 'Altura do Cubo' da estrutura do volante, produzido neste processo de fundição.

Ressalta-se que, quando a Altura do Cubo variava e se o operador não a percebia na injeção da estrutura do volante, os datadores da peça (que indicam o nascimento da mesma e são de suma importância para rastrear sua fabricação) eram encobertos pela espuma de Poliuretana, e sua visualização tornava-se impossível, mostrada na figura 15. Quando isso acontecia, estes volantes eram perdidos, gerando refugo. A figura 16 mostra os datadores visíveis, e a rastreabilidade, neste caso, resguardada.

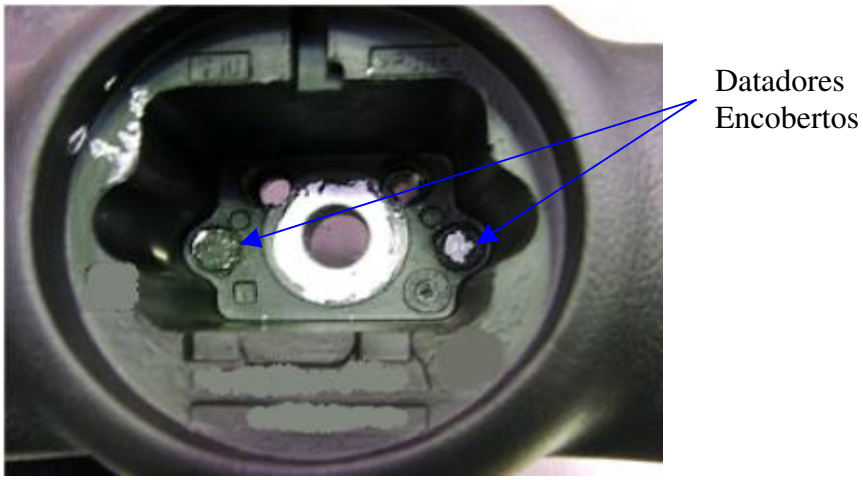


Figura 15 – Datadores encobertos

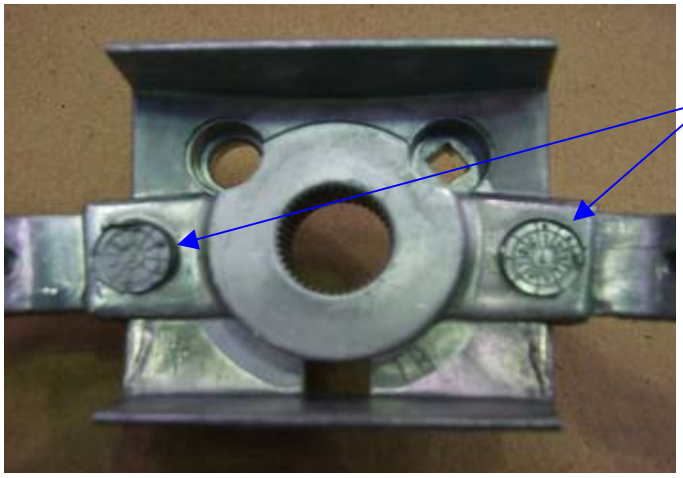


Figura 16 – Datadores visíveis

Na análise inicial do projeto, identificou-se a possibilidade de que os controles poderiam ter efetividade também na redução dos riscos de projeção de alumínio e magnésio, levando a uma redução das horas paradas, refugos, custo de manutenção do fechamento dos moldes de injeção de poliuretana, além de aumentar a satisfação dos clientes (era comum a reclamação destes datadores encobertos). Desse modo foi deslocado desta área, um operador de CEP, que foi transferido para outras atividades, com o intuito de que todos na empresa entendam que estas melhorias não significam redução no quadro de funcionários, e sim aperfeiçoamento dos processos.

É certo que dois parâmetros de melhoria são, a produção com 100% de conformidade e o alcance do controle estatístico. Contudo, é difícil que estes dois requisitos sejam atendidos, uma vez que estes são apenas transitórios e sujeitos a reversões ou melhorias.

3.3 O Método

A princípio utilizou-se os procedimentos tradicionais do CEP para a construção de Cartas de Controle (por variáveis) para a média e para amplitude, porém, com a necessidade de se obter resultados que permitissem respostas mais rápidas, implementou-se para a execução do CEP, o software MINITAB.

O processo seguiu com a confecção de Cartas de Controle da umidade e da temperatura do volante, com o diário de bordo, que registrava quando ocorriam variações no processo, (com os dados armazenados em MINITAB*)*. No ano seguinte, estes dados foram utilizados para revisão dos limites de controle, quando passou-se a considerar a filosofia '*6 Sigma´*, informando sobre a capabilidade ou capacidade do processo.

No sistema baseado em detecção, o foco residia em se identificar amostras dos valores de Batimento Axial dos volantes bem como os valores referentes à Altura do Cubo (que serão apresentadas no Capítulo 4 e 5 respectivamente). Em termos de unidades, o objetivo estava em produzir volantes que estivessem dentro do intervalo de especificação, conforme as necessidades de cada um dos clientes da empresa.

O novo processo atribuía notas em todos os pontos onde são coletados os dados e também durante todo o processo. Os índices baseados em percentuais de acertos dos operadores foram substituídos, passando agora a uma avaliação segundo a média e o desvio padrão que se conseguem obter em todas as remessas. A comparação dos percentuais de acerto, antes e depois da implantação do CEP, concluiu que, com a nova filosofia, três

pontos estavam com índices de acerto próximos de 100%. Apenas um não apresentou resultado satisfatório o que exigiu algumas mudanças estruturais.

A implantação do CEP auxiliou na determinação das causas de variações do processo produtivo e na tomada de decisões pelas pessoas envolvidas no processo. A qualidade foi incorporada ao dia-a-dia da empresa.

Por isso, de modo a suportar a implementação do CEP e garantir a sua sustentação, a empresa deve possuir um sistema de qualidade baseado em princípios de gestão, que devem estar voltados para a qualidade, em todos os processos da Empresa.

Nos próximos capítulos serão apresentados, o processo de produção do volante em maiores detalhes, bem como suas medições feitas para as características de controle e os resultados que cada uma dessas variáveis obteve, e também as melhorias proporcionadas pela aplicação do CEP.

Capítulo 4

A Empresa, o Processo e o Estudo de Caso

A Empresa Auto Peças S. A. tem, há dez anos, trabalhado para implantar o CEP em seus processos produtivos. Fundada em 1959, esta empresa começou suas atividades em São Bernardo do Campo, produzindo volantes e tampas de buzina.

Em 1973, a companhia mudou suas atividades industriais para Jundiaí, aumentando sua produção e produzindo, além de volantes e tampas de buzina, partes termoplásticas e técnicas injetáveis em alumínio, incorporando novas técnicas e novos produtos.

Em 1992, iniciou uma nova filosofia de produção, utilizando células de manufaturas.

Em 1997, começou a produzir módulos de *airbag*.

Em março deste mesmo ano, passou a cobrir parte do mercado do sistema de segurança da América Latina, fornecendo cintos de segurança para as maiores indústrias automobilísticas do Brasil, tais como GM, Honda e Toyota.

Em 2001, a empresa foi reconhecida internacionalmente pela sua alta tecnologia e emprego de pesquisa, desenvolvimento e manufatura, sob os padrões mais altos de qualidade.

Na Auto Peças S. A., estes princípios podem ser resumidos em:

1) Qualidade centrada no cliente. A qualidade é julgada pelo cliente. Todos os atributos de produtos e serviços que têm valor para o cliente elevam sua satisfação e determinam sua preferência, constituindo o fundamento do sistema da qualidade da empresa. Qualidade centrada no cliente é um conceito estratégico voltado para a retenção do cliente e a conquista de novas fatias do mercado.

Demanda sensibilidade constante e resposta rápida e flexível em relação a novas exigências dos clientes e do mercado, a determinação dos fatores que indicam valor, satisfação e preferência do cliente bem como percepção da evolução tecnológica.

2) Liderança. A alta direção é responsável por uma política orientada para os clientes, criando valores claros e elevando as expectativas quanto à qualidade. Esta alta direção também deve se empenhar em promover o crescimento e desenvolvimento de toda a força de trabalho, estimulando a participação e a criatividade de todos os funcionários. Através do envolvimento pessoal e regular em todas as atividades da empresa, a alta direção deve servir de modelo, reforçar os valores e encorajar a liderança em todos os níveis de gestão.

3) Melhoria contínua. A expressão refere-se tanto às melhorias incrementais quanto às revolucionárias. A exigência na melhoria deve fazer parte de todas as operações e de

todos os setores da companhia. Atingir os mais altos níveis de qualidade e competitividade requer um enfoque bem definido e bem executado para a melhoria contínua.

O processo de melhoria deve incluir ciclos regulares de planejamento, execução e avaliação, o que requer uma base - preferencialmente quantitativa - para avaliar o progresso alcançado e fornecer informações a futuros ciclos de melhoria. As melhorias podem ser de vários tipos:

- Aumento do valor para o cliente através de produtos e serviços novos e melhorados;
- Redução de erros, defeitos e desperdícios;
- Mais rapidez de resposta e redução dos tempos de ciclo do negócio;
- Aumento da produtividade e eficácia no uso de todos os recursos;
- Melhoria de desempenho e da posição de liderança no cumprimento de suas responsabilidades públicas.

4) Participação e desenvolvimento dos funcionários. O êxito das empresas na realização dos seus objetivos de qualidade e desempenho depende cada vez mais da qualidade e do envolvimento da força de trabalho. Parece haver um vínculo estreito entre a satisfação do funcionário e a satisfação do cliente. Em função disso, fatores orientados para a segurança, saúde, bem-estar e moral dos funcionários devem ser parte dos objetivos de melhoria contínua da empresa.

Outras iniciativas importantes são a participação dos funcionários não só na solução de problemas e no processo decisório, mas também, nos processos de planejamento estratégico, normalização, definição de necessidades de treinamento e melhoria contínua, entre outros.

5) Resposta rápida. Os níveis de competição exigem ciclos cada vez menores para a introdução de novos produtos e serviços no mercado. Além disso, respostas mais rápidas e flexíveis são requisitos essenciais do processo de atendimento aos clientes. Processos e etapas de trabalho devem ser simplificados. Os tempos de execução são indicadores chave. Aqui também vale dizer que Deming não explicitou essa exigência dos mercados de hoje.

6) Qualidade no projeto e prevenção de problemas. Valorizar a qualidade do projeto. Embutir qualidade nos processos de produção de serviços e produtos. Concentrar ações de melhoria contínua e correção nos primeiros estágios dos processos. Os custos de prevenção de problemas no estágio inicial de projeto são muito mais baixos do que os custos ligados à correção de problemas no estágio final de produção e entrega.

7) Perspectivas de longo prazo. Conquistar a liderança em qualidade requer orientação voltada para o futuro e disposição para assumir compromissos de longo prazo com os clientes, funcionários, acionistas, fornecedores e a comunidade. O planejamento deve determinar ou antecipar as mudanças, inclusive fatores que possam afetar as expectativas dos clientes e da comunidade, mudanças na legislação ou pressões da concorrência. Os planos, estratégia e alocação de recursos devem refletir esses compromissos e mudanças.

8) Gestão baseada em fatos. A realização das metas de melhoria da qualidade e do desempenho das empresas requer que a gestão dos processos baseie-se em dados, informações e análise confiáveis. Os fatos, dados e informações necessários à avaliação e melhoria da qualidade são de muitos tipos, relacionando-se aos clientes, ao desempenho de produtos e serviços, às operações, ao mercado, às comparações de competitividade, aos fornecedores, aos funcionários e aos aspectos financeiros e de custo.

9) Desenvolvimento de parcerias. As parcerias podem ser internas ou externas. As internas se referem à cooperação entre direção e funcionários, entre departamentos. As externas incluem ligações estreitas com clientes e fornecedores e com organizações educacionais. Nesse último tipo têm realce as alianças estratégicas que oferecem ingresso em novos mercados ou base para novos produtos ou serviços. As parcerias devem desenvolver objetivos de longo prazo.

10) *Responsabilidade social e espírito comunitário.* A responsabilidade pública empresarial refere-se às expectativas básicas da empresa ética de negócios, segurança e saúde pública e proteção ambiental. A promoção do espírito comunitário empresarial refere-se à liderança e ao apoio - dentro dos limites razoáveis dos recursos da empresa - a propósitos de educação, conservação de recursos naturais, serviços comunitários, promoção da cultura, do esporte e do lazer. Preocupação mais recente da sociedade, não tem, pelo menos explicitamente, correspondente nos princípios de Deming.

Vale ressaltar que o objetivo da área de desenvolvimento da empresa é manter seu 'expertise' em projetos e ferramentas como moldes/matriz/modelo de injeção de alumínio, magnésio e plásticos, atendendo aos níveis qualitativos internacionais.

A equipe é especializada em métodos e processos para desenvolver e testar os produtos pertencentes à linha de produção usando as mais novas tecnologias. Os engenheiros e técnicos são periodicamente reciclados e treinados na Alemanha e no Japão para absorverem estas novas tecnologias.

A Auto Peças S. A., é líder de mercado com 85% de participação, com produção anual estimada em 1.800.000 volantes, sendo que parte deste volume é exportada. A empresa conta com cerca de 600 colaboradores, atingindo o faturamento anual em torno de R$ 150.000.000,00.

Apesar de ter atendido diferentes setores industriais no passado, atualmente, a Auto Peça S. A. dedica-se a fornecer volantes, módulos de '*airbags'*, cintos de segurança e peças plásticas para as principais montadoras do setor automobilístico: Volkswagen, General Motors, Renault, Mercedes, Scania, Honda e Toyota.

4.1 O Processo de Fabricação

Com a finalidade de se entender melhor como todo o processo deste estudo de caso se desenvolveu, é preciso compreender um pouco mais, como os volantes são produzidos pela indústria Auto Peças – S.A.

Cada volante construído, que é produzido pela empresa e foi objeto de estudo, é composto por uma peça metálica popularmente conhecida como 'estrutura' e possui 3 partes definidas, demonstradas na figura 17:

Figura 17- Composição da estrutura do volante.

Seguindo o processo de produção, temos a injeção da Poliuretana sobre a estrutura do mesmo, (nesta etapa são definidas; forma, cor e tamanho, do volantes, mostrados na figura 18). Todas estas variáveis são controladas e cada uma delas é confeccionada de acordo com as normas de cada cliente e suas especificações técnicas. (Neste estudo utilizou-se o modelo produzido para apenas uma dessas marcas)

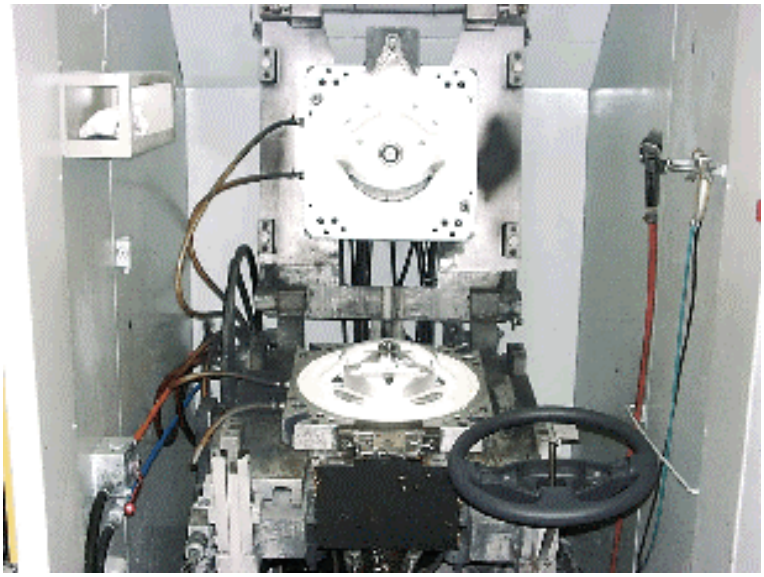


Figura 18- Máquina de Injeção de volantes em Poliuretana.

O Produto final é obtido através da fusão dos processos anteriores, demonstrado na figura 19.

Figura 19- Conjunto Volante *Airbag*.

4.2 Análise de Controle de Processo - A Variável

Como já visto no Capítulo 3, a característica que era utilizada para o controle estatístico do volante injetado em poliuretana era o Batimento Axial.

O Batimento Axial é utilizado para controlar a altura do volante (do cubo até o anel). Para se realizar esta medida (do 'Batimento Axial'), o volante era colocado sobre um apoio cônico e fixado na base de medição, através de um pino-trava no centro do volante. Figura 20.

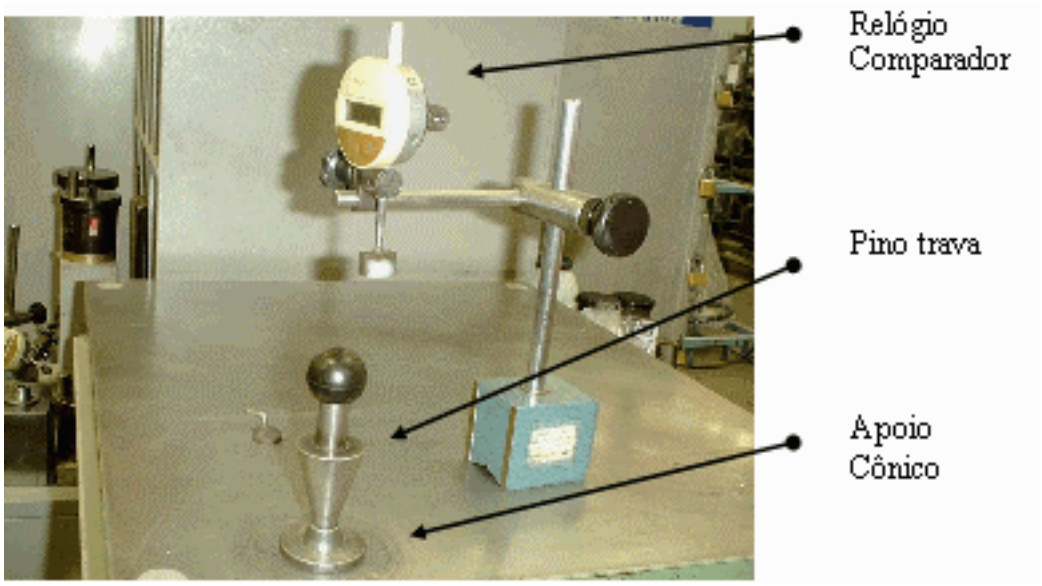


Figura 20- Equipamentos utilizados.

Depois, aproximava-se o relógio comparador, exercendo uma pressão de 02 mm. Girava-se o volante no intuito de encontrar a menor leitura no relógio, quando isso acontecia, este era zerado. Figura 21.

Figura 21- Batimento Axial (etapa inicial)

Em seguida, girava-se novamente o volante para encontrar a maior leitura. Estava obtida então, a medida que se referia ao batimento axial, observado na figura 22. Logo após, este valor era anotado na Carta de Controle.

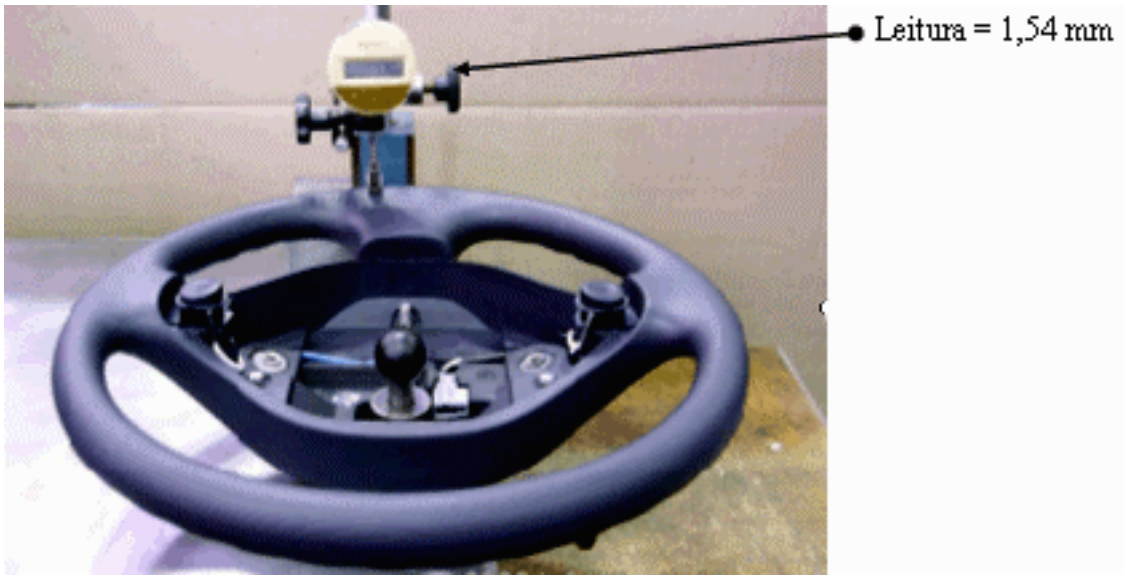


Figura 22– Batimento Axial (etapa final)

Para se fazer o Controle do Processo, inicialmente era retirada 01 amostra de 3 peças a cada 3 horas. Ao longo do tempo, com as melhorias sendo executadas no processo, esta freqüência começou a diminuir, passando a ser realizada então, a retirada de 3 peças por turno de 8 horas.

Existiam três operadores que coordenavam estas atividades do CEP, sendo um operador por turno. Com o processo tornando-se estável, os operadores do CEP passaram a executar diversas atividades em outros setores da empresa.

Desse modo então, resolveu-se, modificar o foco do processo, assim, atualmente, a característica Batimento Axial não é mais controlada através do CEP, já que havia um alto nível de capabilidade do processo para esta variável.

A figura 23 é um exemplo de Carta de Controle do Batimento Axial (confeccionada pelo software MINITAB) onde se observa que o processo estava bem estável e apresentando um Cpk próximo a 2.

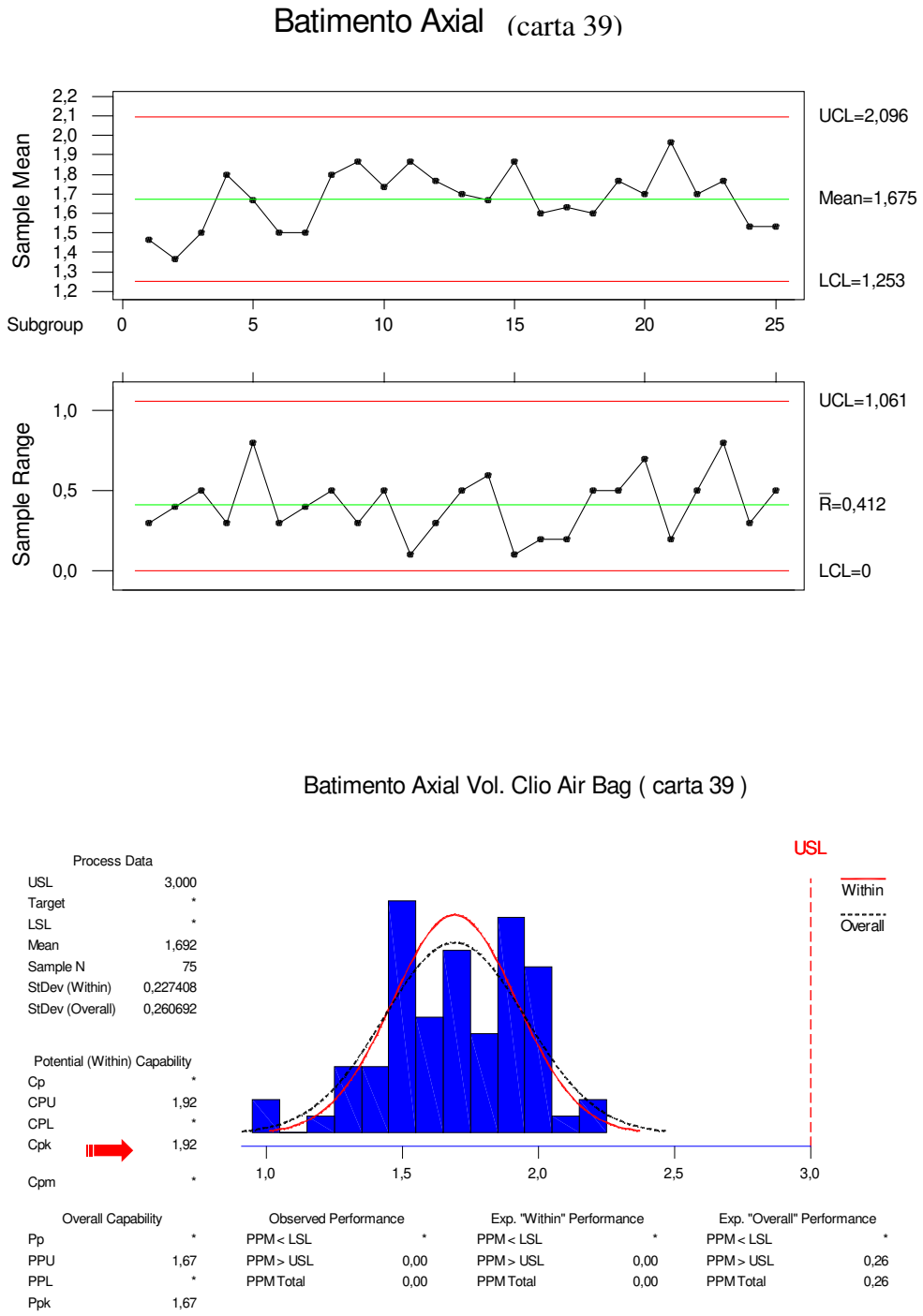


Figura 23 – Carta de Controle e Índices de Capacidade do Processo

Estas Cartas de Controle do item Batimento Axial e a análise dos gráficos de dados ao longo da produção, demonstraram que os pontos plotados permaneceram dentro dos limites de controle, verificando assim, um processo estatisticamente estável.

4.3 Manutenção do Ferramental do Volante:

Uma vez que este processo estava estável e sob controle, foi constatado que o processo de construção e reconstrução do molde, que já vinha sendo utilizado pela empresa, mantinha fortemente os padrões de qualidade requeridos pelos clientes. Estas reconstruções dos ferramentais dos volantes eram obtidas através de um modelo original, apresentado na figura 24. Posteriormente uma nova parte, a 'cavidade do molde', era o resultado obtido através do modelo original, mostrado na figura 25, com a injeção de uma resina epóxi. Logo em seguida o molde era liberado para produção (injeção da poliuretana).

Com isso, o Batimento Axial encontrava-se, completamente estável e dentro das especificações.

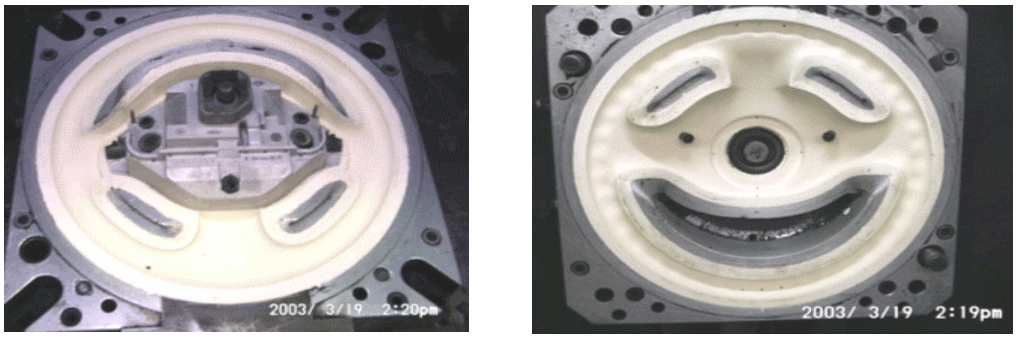
As figuras 24, 25 e 26 mostram a seqüência do processo de manutenção do ferramental.

Figura 24- Modelo original para construção do ferramental.

Cavidade do volante sem a resina epóxi em fase de construção.

Figura 25- Ferramental em fase de reconstrução.

Cavidades após a aplicação da resina epóxi. (já construídas)



a) b)

Figura 26 – Ferramenta para Injeção de Volante em Poliuretana:

a) Ferramental lado fixo.

b) Ferramental lado móvel.

Este tipo de trabalho também visava controlar a variação no ferramental (figuras 26a e 26b) para que este tivesse uma melhor vida útil. Este controle da vida útil do ferramental era efetuado através do apontamento de produção, sendo gerado um relatório de acompanhamento pela Ferramentaria. Qualquer alteração neste ferramental, assim como as suas reconstruções, eram anotadas no diário de bordo da Carta de Controle.

Nestas análises observou-se, também, mediante cálculo e interpretação de índices específicos, a capabilidade e o desempenho do processo. Este índice, para o Batimento Axial, era superior a 1,33 (Cpk > 1,33) comprovando então que o processo era capaz, Além disso, podia-se avaliar a variabilidade total permissível para as peças com tolerância natural de fabricação, e também a centralização do processo com relação ao limites (superior e inferior) de especificação.

Desse modo, o controle da característica Batimento Axial é executado agora, somente na fase de aprovação do ferramental logo após a sua construção ou reconstrução. Após esta etapa, este ferramental é liberado diretamente para a produção, conforme as especificações contidas no Plano de Inspeção da Garantia da Qualidade.

Vale ressaltar que esta análise experimental foi beneficiada pela grande quantidade de dados disponíveis, em função do alto volume de produção diária dos itens analisados, os quais não serão detalhados neste trabalho por uma simples questão de espaço físico, sendo que algumas Cartas de Controles e suas respectivas análises encontram-se nos anexos.

Portanto, deixar de controlar estatisticamente esta característica (Batimento Axial) foi uma opção viável da Auto Peças S.A., pois esta etapa da produção possuía um processo estatisticamente estável e dentro dos padrões de qualidade e que somente vinha sendo controlado, devido à exigência de clientes da Auto Peças S.A.

No próximo capítulo veremos qual é, e como uma nova variável começou a ser controlada e os benefícios que este novo processo trouxe para a empresa.

Capítulo 5

A Nova Variável de Controle

Através da carta de controle por variáveis, a empresa Auto Peças S. A. analisou a produção da estrutura do volante de direção de um veículo do mercado brasileiro.

Demonstrar a capabilidade do processo traz sempre tranqüilidade para tomar decisões sobre o processo de produção. Isso possibilitou a escolha de realocar o CEP, que vinha sendo utilizado na característica Batimento Axial, (injeção de poliuretana) para outra etapa do processo que apresentava problemas maiores.

A empresa Auto Peças S. A. observou que, quando fora de controle, a ´Altura do Cubo´ da estrutura de alumínio danificava o molde de injeção do volante de poliuretana e também as portas de máquina, devido às projeções de Alumínio, propiciando riscos aos funcionários envolvidos nesta etapa do processo, conforme mostrado nas figuras 27, 28, 29, 30 e 31.

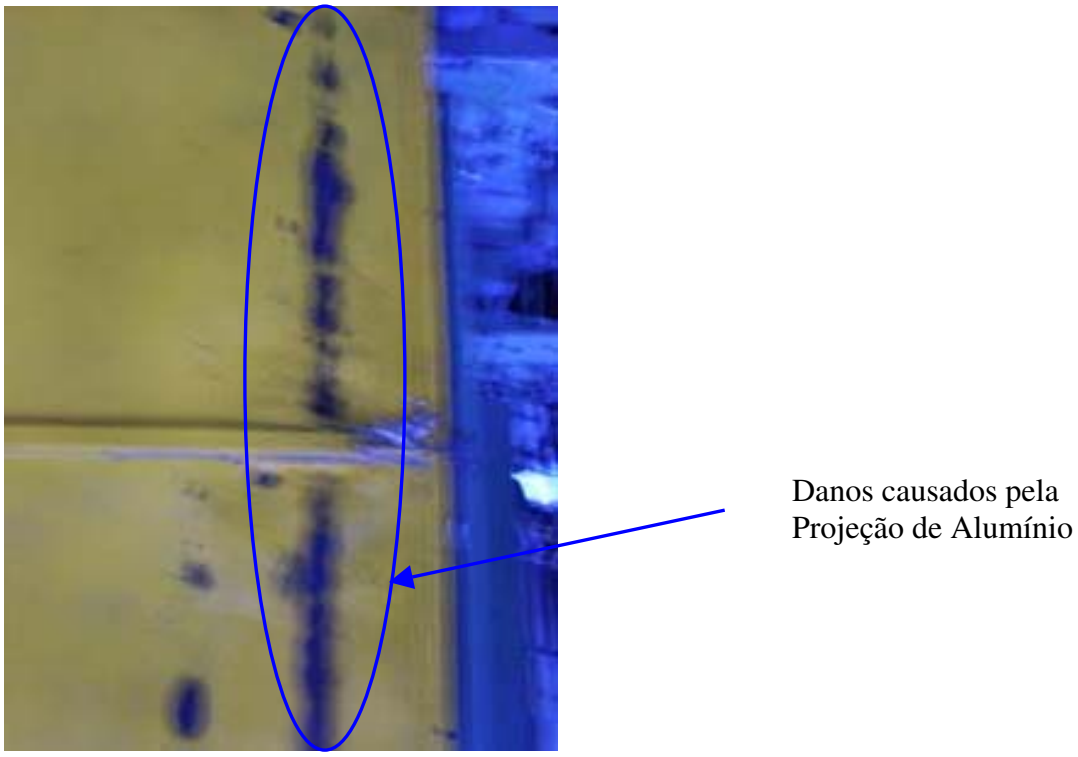


Figura 27- Marcas de queimado devido às projeções de alumínio, lado esquerdo da porta injetora.

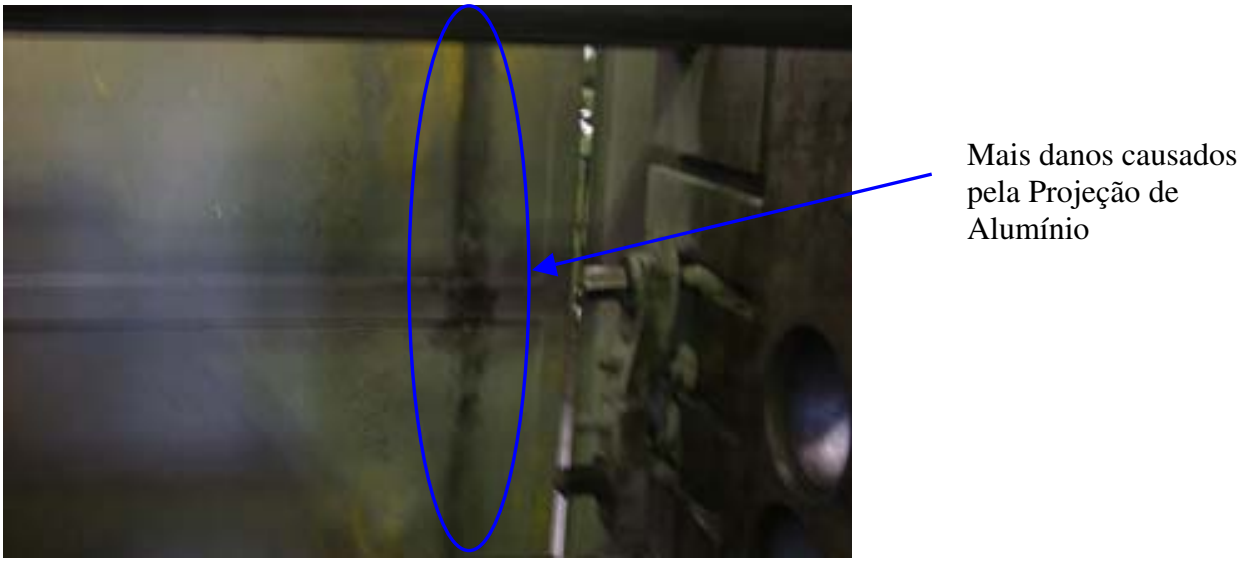


Figura 28 - Marcas de queimado devido às projeções de alumínio.

Figura 29 - Marcas de queimado devido às projeções de alumínio.

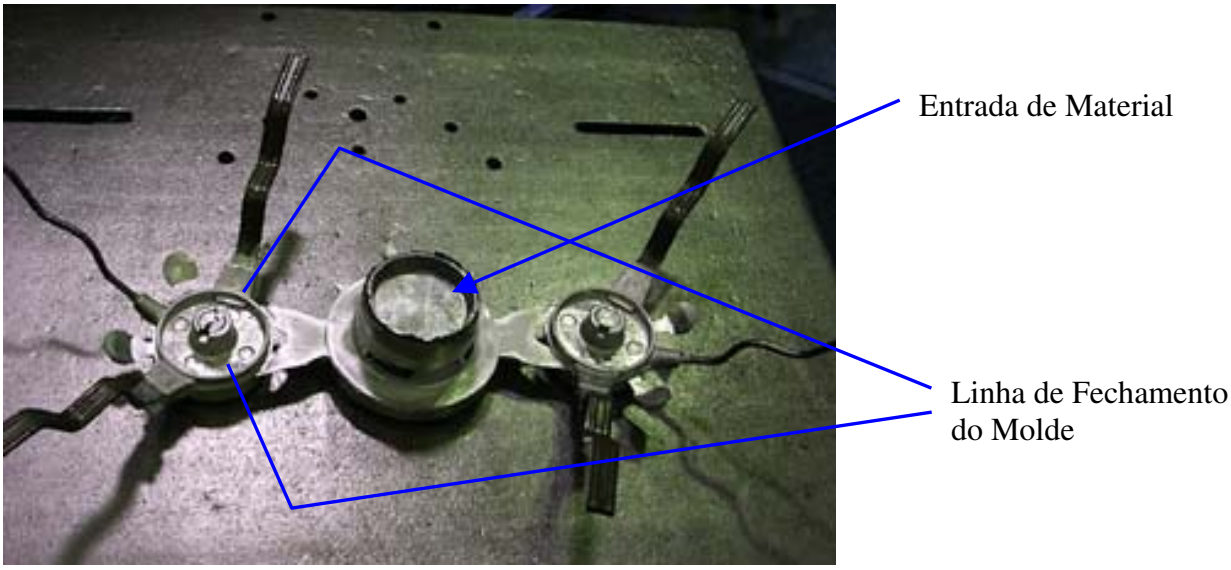


Figura 30- Canal de injeção e estrutura.

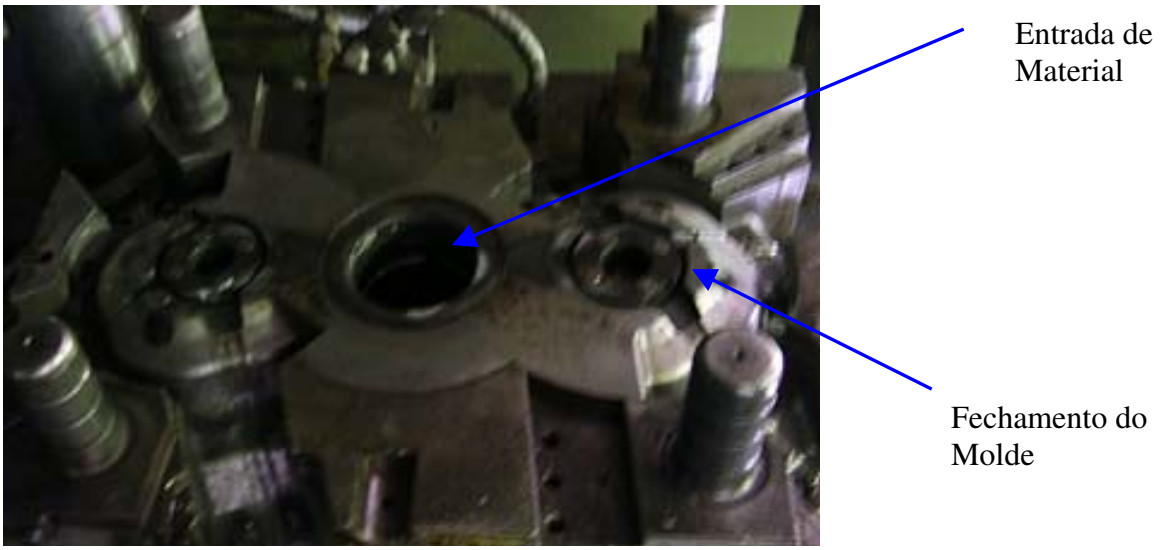


Figura 31- Cavidade da estrutura.

Afim de manter os padrões de qualidade da empresa e melhorá-los, foi estabelecido que a mudança de variável de controle era inevitável e fez-se necessária.

5.1 A Nova Variável de Controle: Altura do Cubo

Conforme visto no capítulo 3, e devido aos problemas encontrados durante o processo de fabricação dos volantes, ficou estabelecido que a melhor opção para o caso em estudo, era controlar, através de cartas de CEP, o processo na **Fundição da Estrutura do Volante**, devido ao risco de acidente em função de projeção de magnésio e também de alumínio, mostrado nas figuras 32 e 33.

Figura 32- Projeção de alumínio.

Resultado de Projeção de Material

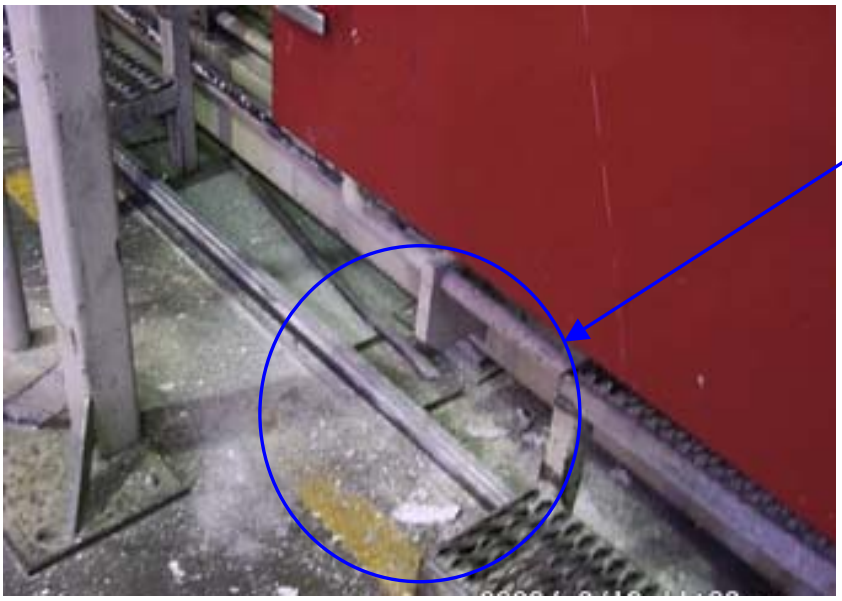


Figura 33- Projeção de magnésio.

Assim, optou-se pelo controle estatístico desta nova variável, a ‘Altura do Cubo’ do volante, pois tinha sido constatado que, quando esta altura do cubo variava, em função de possíveis vazamentos hidráulicos internos, gerava um aumento nesta Altura do Cubo, danificando o fechamento do molde do volante, resultando em tempo de parada da produção e, portanto, uma diminuição do desempenho da fábrica.

Abaixo, pela figura 34, observa-se, em detalhes, qual é esta nova variável.

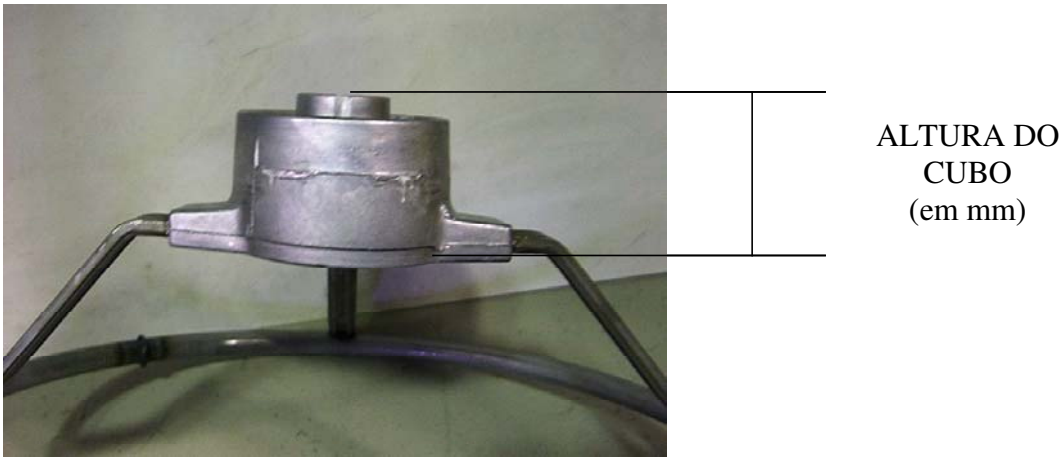


Figura 34- Cubo do volante (medida obtida, através de uma simples medição, na estrutura do volante).

Para o estudo desta variável, as mesmas ferramentas da qualidade usadas para a variável Batimento Axial, foram utilizadas novamente. Os mesmos critérios de amostragem foram seguidos, os mesmos gráficos de controle foram elaborados e, desta vez, resultados ainda melhores, foram obtidos, o que é demonstrado pelas figuras 35 e 36.

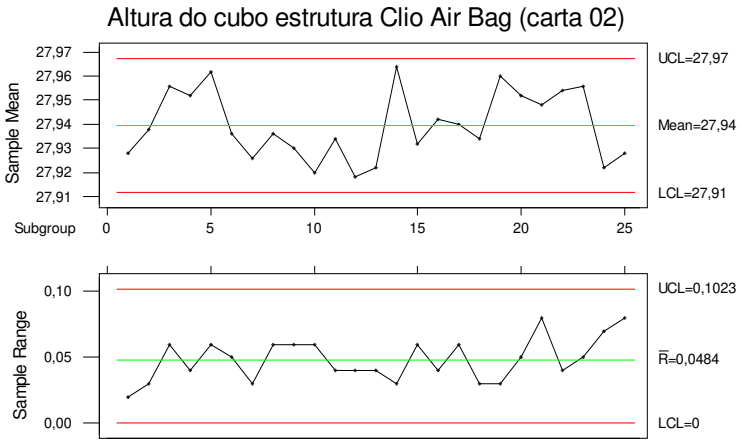


Figura 35 - Gráfico de Controle da variável ´Altura do Cubo'

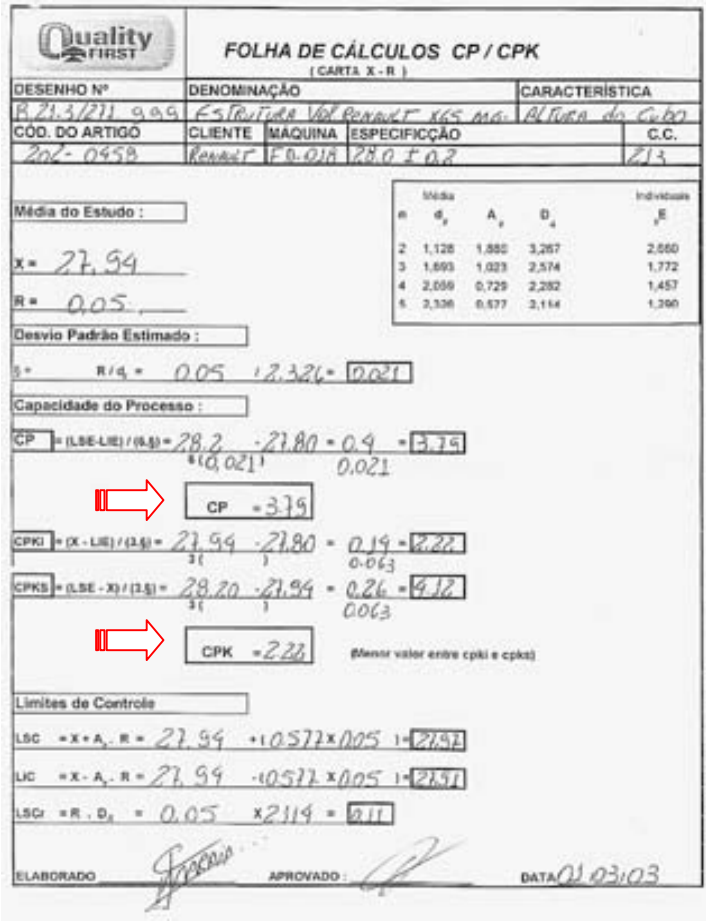


Figura 36 - Folha de Cálculo de Cp e Cpk, da variável 'Altura do Cubo'

Estas Cartas de Controle e a Folha de Cálculo do item Altura do Cubo, bem como a análise dos gráficos de dados ao longo da produção, demonstraram que os pontos plotados permaneceram dentro dos limites de controle, o que levou à conclusão de se tratar de um processo estatisticamente estável, principalmente, se forem levados em consideração, os altos Índices de Capacidade e de Performance que o processo atingiu.

Dessa forma, ficou claro, que através da transferência do CEP do 'Batimento Axial' (injeção do volante em poliuretana) para a 'Altura do Cubo' (injeção das estruturas de alumínio), houve um controle eficaz do processo de fabricação da injeção das estruturas em alumínio, reduzindo-se os riscos e os índices de quebra de moldes na injeção de poliuretana. Vale ressaltar que, além disso, houve, uma importante diminuição da projeção do alumínio, durante o processo da fundição do volante.

Além disso, com a diminuição do tempo de parada de máquina para manutenção do fechamento do molde, houve também uma redução dos custos de controle da aplicação da ferramenta CEP.

5.2 Resultados

Um automóvel é, em princípio, um simples meio de transporte. Mas existem grandes diferenças de tamanho, desempenho e aparência entre eles. Essas diferenças são determinadas pela qualidade do projeto. Os produtos devem satisfazer às exigências dos consumidores. Em conseqüência, um produto tem qualidade quando é adequado para o uso. A carta de CEP é uma ferramenta eficaz na garantia de qualidade da produção, entretanto,

foi notado que seu uso por si só não é justificado. É importante a análise crítica para definição coerente de como e onde aplicá-la.

Assim, os seguintes resultados foram obtidos, após a utilização dos esforços para se utilizar as ferramentas de CEP de uma melhor forma possível dentro da empresa Auto Peças S.A. Figuras 37, 38 e 39.

- Redução da Quantidade Cartas de Controle

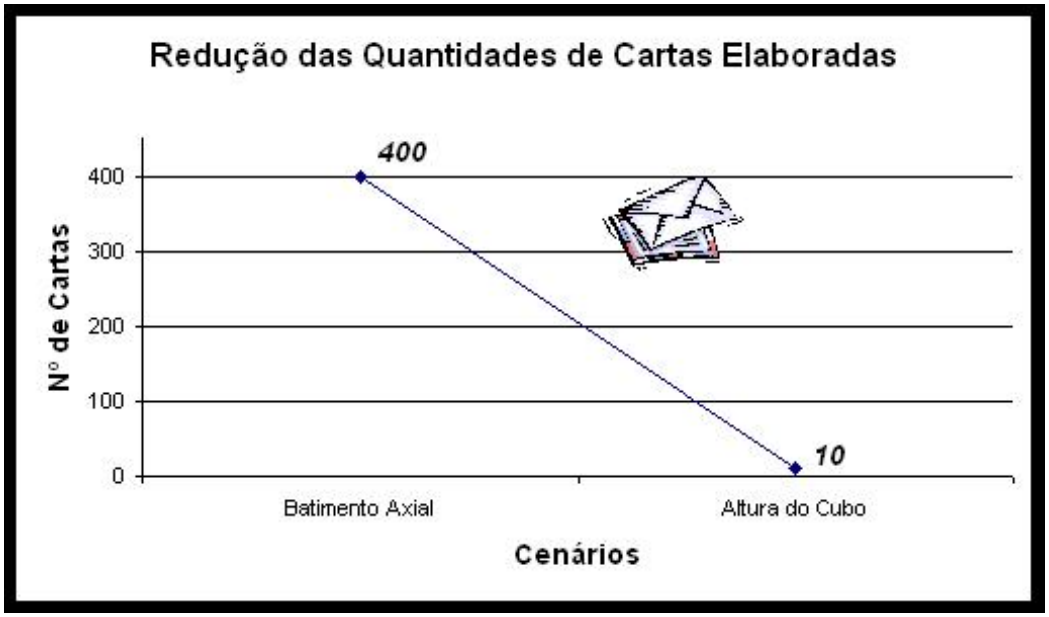


Figura 37 – Gráfico Ilustrativo sobre a redução das cartas de controle.

Com a mudança de CEP, reduziu-se o número de cartas de controle.

- Redução das horas de manutenção de ferramental na injeção de poliuretana (Correspondente a 1% do total de 19800 horas trabalhadas)

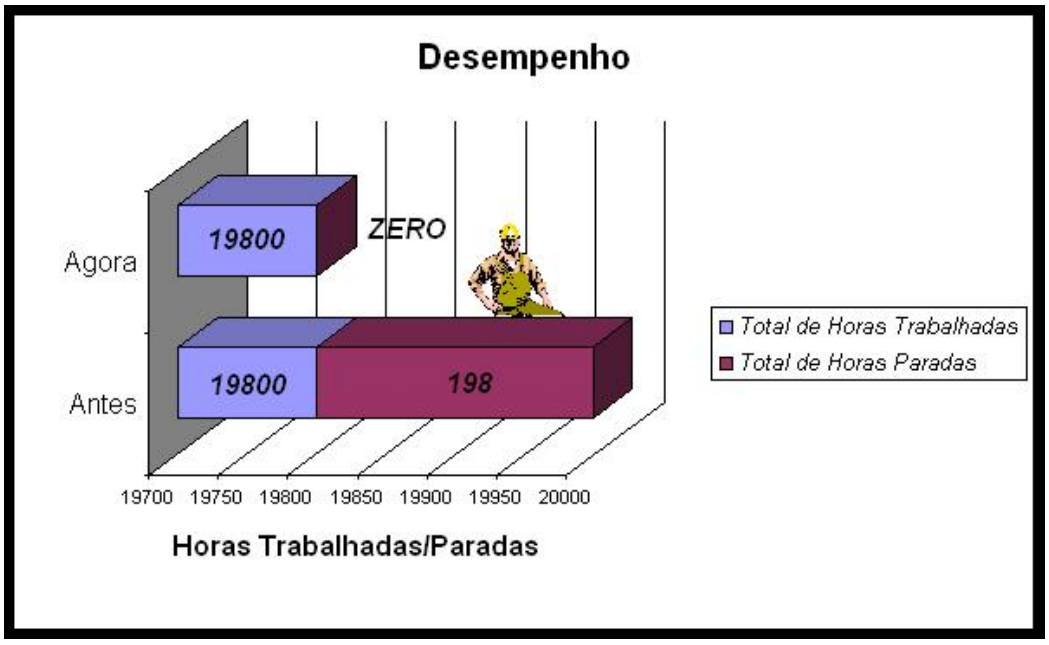


Figura 38 – Gráfico que mostra o desempenho, em horas de trabalho.

Como não há mais a necessidade de controlar os riscos, não há mais tempo gasto com parada de máquina.

- Redução da Mão de Obra Empregada

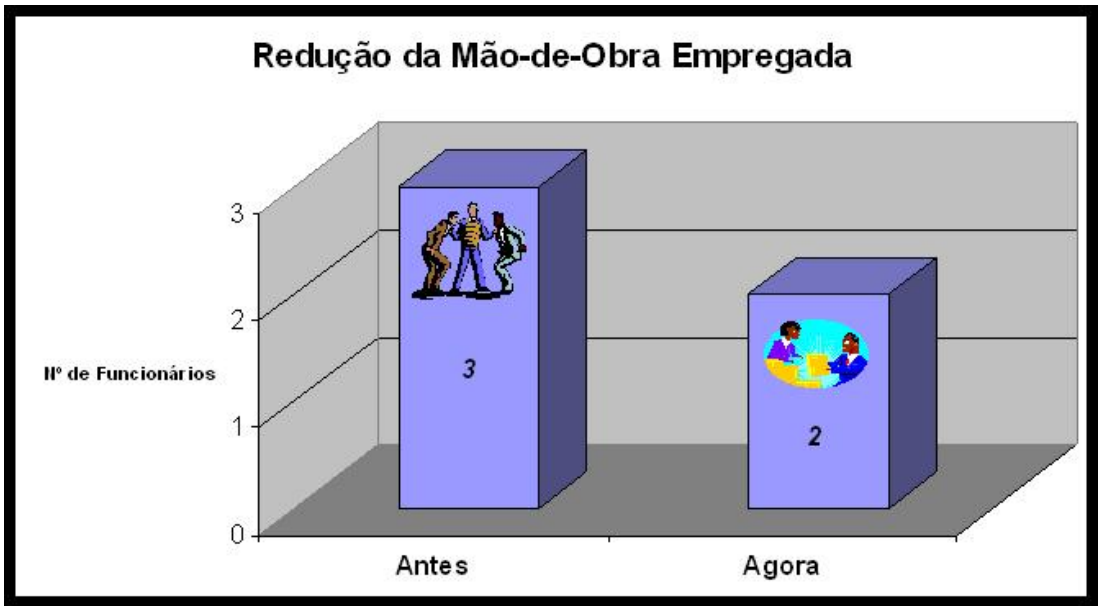


Figura 39 – Gráfico que mostra a redução de mão de obra.

Agora, somente 2 funcionários são responsáveis pelo CEP nesta etapa do processo, o outro foi realocado para um outro setor da empresa.

Com isso, chega-se que, com a implantação do programa de CEP para a melhoria da qualidade, pôde-se eliminar desperdícios, reduzir os índices de produtos defeituosos, diminuir a necessidade de inspeções constantes, aumentando o lucro e a satisfação dos funcionários da empresa bem como a dos clientes.

Por isso, resumindo, faz-se necessário identificar em qual etapa do processo de produção as ferramentas do CEP devem ser utilizadas. Esta identificação é, sem dúvida, fundamental para o sucesso de um trabalho de qualidade.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho buscou-se apresentar uma visão geral da questão da qualidade e da utilização do Controle Estatístico do Processo (CEP) como ferramenta de análise. Foram apresentadas as características principais dos Gráficos de Controle mais utilizados, os índices de capacidade de um processo e cuidados que devem ser tomados na sua aplicação e os critérios que devem ser observados nesta escolha.

À primeira vista, este trabalho poderia ser visto como um guia de aplicação do CEP. Para isto, o mesmo deveria discorrer sobre as metodologias e detalhar profundamente o estudo de caso. Procurou-se, aqui, além de apresentar os resultados obtidos pela empresa Auto Peças S.A., proporcionar uma visão crítica da aplicação da ferramenta para os gestores que vierem a fazer uso da mesma. Desta forma, esta dissertação atendeu, também, o objetivo do curso de Mestrado Profissional da Unicamp, que é focado no planejamento e gestão estratégica da manufatura, havendo correlação direta entre os princípios ensinados e os aplicados nesta análise.

A Empresa Auto Peças S. A. é um exemplo de empresa que tem aplicado as Cartas de Controle e outras ferramentas do CEP com sucesso. Contudo, ao acompanhar este processo por quase uma década, observa-se que há uma exigência singular de perseverança por parte da administração – tendo em vista que os resultados não vêm em curto prazo, sendo necessário insistir no treinamento e na educação em todos os níveis. O entendimento e a diferenciação do que são as chamadas causas comuns e causas especiais, municiam as pessoas para intervirem apenas oportunamente no processo, evitando-se a incorporação de variação adicional, em função das próprias ações inapropriadas de quem está responsabilizado pelo processo.

As Cartas de Controle surgiram a partir de problemas a serem resolvidos na área de produção, mas agora passam a ser utilizadas também em outros setores da empresa. Pode-se monitorar, por exemplo, o nível de satisfação ou reclamações de clientes utilizando-as convenientemente.

A análise da evolução das receitas em uma empresa não deve ser avaliada com base no número atual, ou simplesmente pela comparação com um número do mesmo período anterior; é necessária uma avaliação de contexto, pois só ela permite fugir de conclusões baseadas em episódios e que, portanto, não refletem o comportamento normal do sistema. As Cartas de Controle são, de fato, uma ferramenta com eficácia comprovada na empresa para entender e fundamentar as ações de ajuste de curso nos tempos atuais, cuja turbulência é constante.

A aplicação das técnicas estatísticas requer um aprendizado contínuo. Além disso, o esforço de implantação, aliado ao conhecimento do processo, possibilita obter os resultados, satisfação pessoal, que contribuem para o sucesso do projeto.

As causas mais comuns de variabilidades na qualidade acontecem em função das diferenças ou inconsistências entre operários, lotes de matéria-prima, equipamentos e instrumentos de medição, desse modo, o controle destas causas pode ser feito através de treinamentos da equipe, mudanças na concepção do processo, controle sistemático da matéria-prima, manutenção preventiva, padronização das operações, etc.

O trabalho de análise da ferramenta CEP, além de ter demonstrado sua efetividade na garantia do processo, possibilitou também entender que a sua aplicabilidade deve ser decidida de forma criteriosa. O estudo de caso possibilita a conclusão de que o processo tem que ser analisado através de suas características críticas, e onde estas são geradas. Desta forma, pode-se decidir não só pela característica a ser controlada, mas também, em que etapa do processo ela deve ser controlada de modo a otimizar a aplicação do CEP, gerando assim resultados expressivos nos projetos ligados à qualidade dos processos e produtos.

Existe ainda a necessidade de conhecimento sobre outros aspectos, que também são de extrema importância para o contínuo crescimento da empresa. Para trabalhos futuros, há um caminho aberto para novas investidas, quando podem ser buscadas novas características de controle estatístico significativas para o processo de injeção de Poliuretana.

Referências Bibliográficas

BASSETT III, A, Thomas e SANDFORD, John P. The OCAP: predetermined responses to out-of-control conditions. Statistical Applications in Process Control. 1 ed. Editado por Douglas Montgomery e J. Bert Keats. New York: Marcell Dekker, Inc., 1996.

BOX, G.E.P, JENKINS, G.M. Time Series Analysis, Forecasting and control. 2 edição. USA: Holden-Day, 1976.

BURKE, Richard J. et al. Process capability indices: now and in the future. Quality Engineering. USA: Marcel Dekker, Inc, Vol. 10, N. 3, 1998.

CAMPOS, Vicente Falconi. Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia. 3. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994b.

CAMPOS, Vicente Falconi. TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japonês). 4. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994a.

COHEN, Wesley M. e LEVINTHAL, Daniel A. (1990) "Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation". In: *Administrative Science Quarterly,* vol.35, mar, pp.128-152.

DALE, B.G. e LIGHTBURN K. A Critique of Statistical Process Control in a First-line Motor Industry Supplier. Quality Engineering. USA: ASQC and Marcel Dekker, Inc. V. 4, N. 3, 1992.

DEMING, W. Edwards. Qualidade: A evolução da Administração. 1. Edição. Rio de Janeiro – RJ: Editora Marques Saraiva S.A. 1990.

ESTATCAMP: Projeto 6 sigma. Disponível em <http://www.estatcamp.com.br/proj6sig.php> . Acessado em Junho de 2004.

GRAÇA Jr, João Câncio da. O CEP acaba com as variações? Revista Controle da Qualidade. São Paulo, Editora Bannas, 1996.

GALBINSKY J. As Novidades do Mundo da Qualidade. Revista Banas Qualidade, nº 113, outubro de 2001.

HEIMANN, Peter A. Attributes control charts with large sample sizes. Journal of Quality Technology. USA:, vol. 28, N. 04, 1996.

ISHIKAWA, Kaoru. TQC – Total Quality Control – Estratégia e administração da Qualidade. 1. Edição. São Paulo – SP: IMC Internacional Sistemas Educativos, 1986.

JURAN, J. M. GRYNA, F.M. Quality Control Handbook. 4 edição New York: McGraw-Hill Book Company, 1986.

JURAN, J.M. Juran na liderança pela Qualidade. 2. Edição. São Paulo: Livraria Editora Pioneira , 1993.

KANE, Victor E. Defect Prevention: Use of Simple Statistical Tools. 1. Ed. USA: Marcel Dekker, Inc. and ASQC Quality Press, 1989.

KUME, Hitoshi. Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade.1 ed. São Paulo: Editora Gente, 1993.

MATHESON, Lance A . On sequential versus random sampling in statistical process control. Benchmarking for Quality Management & Technology. Vol. 3 Núm. 1. USA: MCB University Press, 1996.

MINITAB. User's Guide 2: data analysis and quality tolls. USA: Minitab Inc., 1998.

MONTGOMERY, Douglas C. Introduction to Statistical Quality Control. 2 ed. Canadá: John Wiley & Sons, 1991.

NADLER, David., GERSTEIN, Marc S., SHAW, Robert B. Arquitetura Organizacional: a chave para a mudança empresarial. 1 edição. Rio de janeiro: Editora Campus, 1994.

NBR-ISO9001 – Sistemas da qualidade – Modelo para garantia da qualidade em projeto, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados. Rio de janeiro: ABNT, 1994.

NUMA: Índices de Capacidade. Disponível em <http://www.numa.org.br> . Acessado em Julho de 2004

OWEN, Mal. SPC and Continuous Improvement. 1 ed. USA: IFS Publications, 1989.

PALADINI, Edson Pacheco. Gestão da Qualidade no Processo. 1 ed. São Paulo: Editora Atlas, 1995.

PALM, Andrew C.; RODRIGUEZ, Robert N.; SPIRING, Fred A. ;WHEELER, Donald J. Some Perspectives and Challenges for Control Chart Methods. Journal Of Quality Technology. USA: ASQC, V. 29, N.2, 1997.

QS – 9000. Quality System Requirements. 2 edição. AIAG. USA, 1995.

RAMOS, Alberto Wunderley. Controle Estatístico de Processo. In: CONTADOR, José Celso et al. Gestão de Operações: A Engenharia de Produção a serviço da modernização da empresa. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1997, 593 p.

RAMOS, Alberto Wunderley. Controle Estatístico de Processo. 2000.

SANIGA, Erwin M. Individual Contributions. Journal Of Quality Technology. USA: ASQC, V. 29, N.2, 1997.

SCHISSATTI, Márcio Luiz. Uma Metodologia de Implantação de Cartas de Shewhart para o Controle de Processos. Florianópolis, 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 1998.

SCHONBERGER, Richard J. Fabricação Classe Universal. 1. edição. São Paulo: Livraria Pioneira Editora, 1988.

SHAININ, Peter D. Managing SPC, A critical Quality System Element. ASQC Quality Congress Transactions-Nashville, 1992.

SLACK, Nigel, CHAMBERS, Stuart, HARLAND, Christine, HARRISON, Alan,

STATISTICAL PROCESS CONTROL: Disponível em <http://www.cheresources.com/spczz.shtml> . Acessado em Agosto de 2004.

JOHNSTON, Robert. Administração da Produção. 1. ed. São Paulo: Atlas, 1997, 726p

VIEIRA, S. ; WADA, R. As 7 ferramentas estatísticas para o controle da qualidade. Brasília: QA&T, 1995. 133p.

VIEIRA, Sonia. Estatística para a Qualidade. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999, 198p.

WALPOLE, Ronal E. e MYERS, Raymond H. Probability and Statistics for Engineers and Scientists. New York: Macmillan Publishing Company, 1989.

WERKEMA, Maria Cristina. As ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos. 4 ed. Belo Horizonte: FCO, 1995a.

WERKEMA, Maria Cristina. Curso 6 Sigmas (apostila). Belo Horizonte: Fundação de

Desenvolvimento Gerencial, 1998.

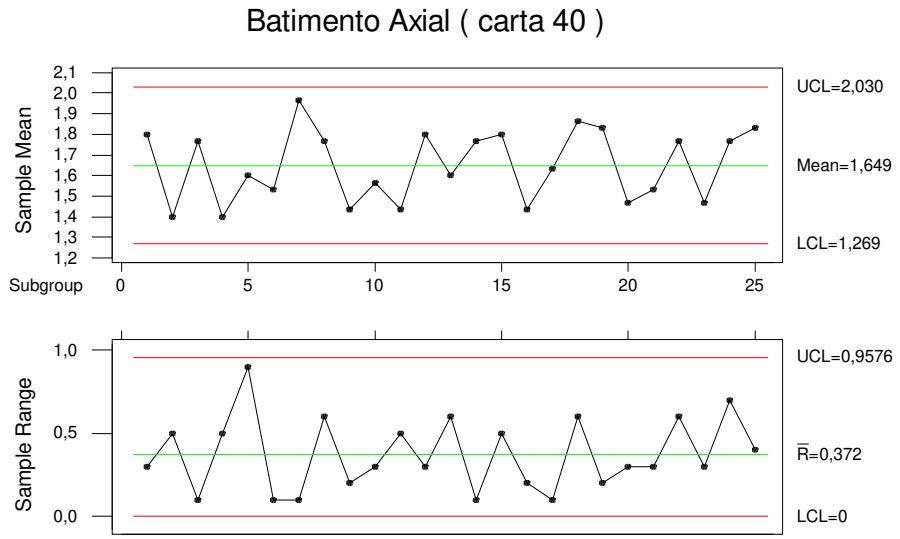
WERKEMA, Maria Cristina. Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos. 1 ed. Belo Horizonte: FCO, 1995b.

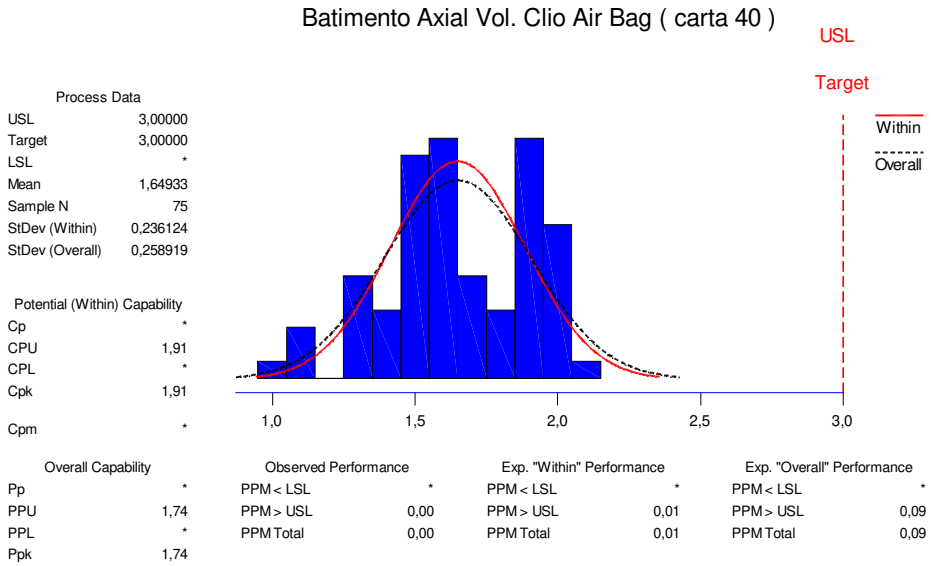
WHEELER, Donald J. e CHAMBERS, David S. Understanding Statistical Process Control, 2 ed. USA: SPC Press, 1992.

WHEELER, Donald J. Individual Contributions. Journal Of Quality Technology. USA: ASQC, V. 29, N.2, 1997.

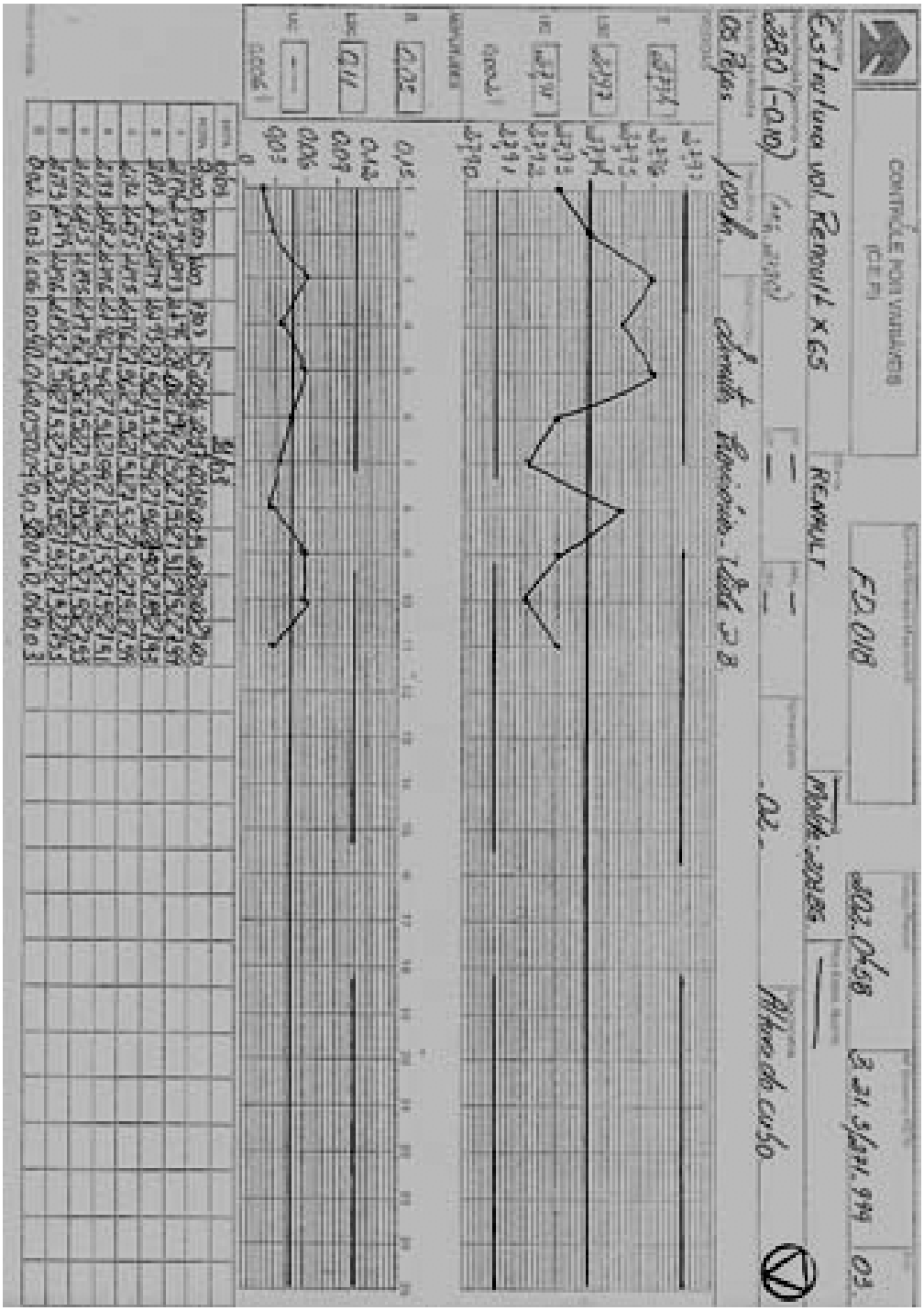
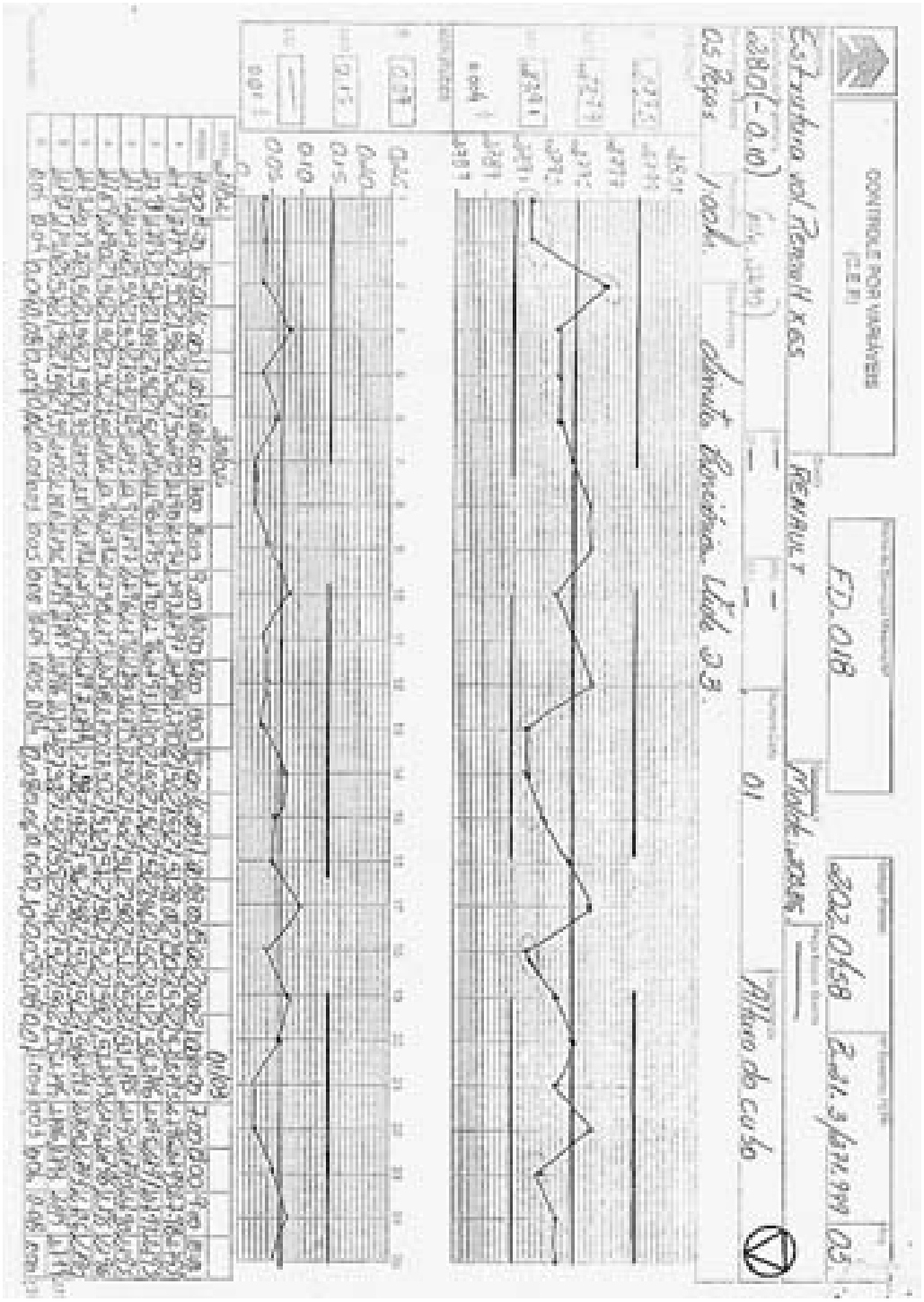
YASHCHIN, Emmanuel . Process Control and Statistical Inference. Journal Of Quality Technology. USA: ASQC, V. 29, N.2, 1997.

ANEXO 1 – Carta de Controle - Batimento Axial





ANEXO 02 – Carta de Controle – Altura do Cubo (exemplo 1)



ANEXO 03 – Carta de Controle – Altura do Cubo (exemplo 2)