

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UMA METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DE CARTAS
DE SHEWHART PARA O CONTROLE DE PROCESSOS**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA**

MÁRCIO LUIZ SCHISSATTI



UFSC-BU

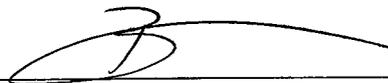


FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 1998

UMA METODOLOGIA DE IMPLANTAÇÃO DE CARTAS DE
SHEWHART PARA O CONTROLE DE PROCESSOS

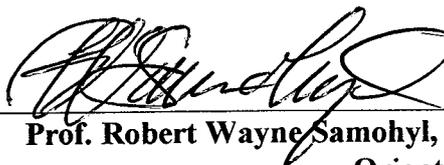
Márcio Luiz Schissatti

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de
“Mestre”, especialidade em Engenharia de Produção, aprovada em sua
forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção
da Universidade Federal de Santa Catarina.

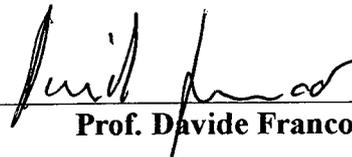


Prof. Ricardo Miranda Barcia, PhD
Coordenador do PPGEP

Banca Examinadora



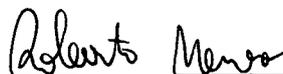
Prof. Robert Wayne Samohyl, PhD
Orientador



Prof. Davide Franco, Dr.



Prof. Antonio Cesar Bornia, Dr.



Prof. Roberto Meurer, M. Eng.

RESUMO

Indubitavelmente o objetivo fundamental da implementação do CEP está sustentado na crença de que esta ferramenta de gestão de processos acarreta a manutenção e melhoria dos níveis de qualidade, refletindo invariavelmente na redução dos custos de fabricação. Entretanto, apesar do elevado número de modelos de cartas de controle desenvolvidos, a maioria das empresas restringe a aplicação às cartas de controle convencionais, conhecidas como cartas de Shewhart. Muitas dessas empresas encontram diversas dificuldades na utilização dessas cartas. Não raros são os casos de implantação fracassada. Dentre as principais causas deste insucesso está o fato de que muitas empresas aplicam as ditas cartas de controle de Shewhart sem que seja utilizada uma metodologia adequada de implantação desta ferramenta, que contemple as diferenças entre processos auto-correlacionados e não auto-correlacionados, uma vez que estes tipos de cartas são principalmente aplicáveis a esta última categoria de processos. Logo, este texto apresenta alguns modelos teóricos de implantação do CEP, além de uma análise das principais causas que podem dificultar essa implantação. Por último, é proposta uma metodologia de implantação do controle estatístico em processos não-autocorrelacionados, ou seja, um modelo de implantação das cartas de controle ditas convencionais ou de Shewhart.

ABSTRACT

There are no doubts that the main objective of implementing “statistical process control (SPC)” is to maintain and improve the results related to quality and cost processes. However, although high number of control chart models have been developed, most companies have been applying just the traditional models or Shewhart charts. The majority found lots of difficulties related to SPC implementation. In other words, control charts are used just like historical data. Methodologies that have been used do not take into consideration the eventual presence of autocorrelated data in the process. The Shewhart’s charts are suitable to the process that does not have autocorrelated data. Thus, this text shows some theoretical SPC implementation models and presents one analysis of the main causes related to difficulties in implementing this quality tool. Finally, one structured methodology that indicates how to implement correctly “traditional charts” to control process is shown.

A DEUS,

pela oportunidade de viver e evoluir.

Agradecimentos:

- A Empresa Brasileira de Compressores, Embraco S. A., pelo incentivo, em especial ao Sr. Silvio F. D'Aquino, ao Sr. Edson L. Preis e ao Sr. Carlos A. Xavier.

- A Universidade Federal de Santa Catarina, em especial:

Ao saudoso Prof. Plínio Stange, pela credibilidade.

Ao Prof. Robert Wayne Samohyl, pela orientação desse trabalho.

Ao Prof. Davide Franco, pelas valiosas contribuições e pelo exemplo de competência e dedicação.

Ao Prof. Roberto Meurer, pelo crédito depositado.

Ao Prof. Antonio Cesar Bornia, pela disposição em contribuir.

Este trabalho é dedicado:

A Luciana, pelo amor, carinho, paciência e compreensão. Pelo exemplo de persistência, bravura e profissionalismo.

Ao Sandrinho: irmão, amigo, companheiro e exemplo de vida.

Ao meu pai Sr. Darci e à minha mãe D. Antônia, responsáveis pela direção da minha vida, pelos meus valores e pelo amor.

Ao grande irmão Bruno, pelo carinho e irreverência.

A tia Cleusa, pela alegria perene e pela enorme parcela de contribuição na minha vida. A minha avó Josefa, exemplo de Fé, humildade, sabedoria e perseverança.

Ao amigo Günter, pela torcida e apoio.

Ao Rodrigo Spricigo, pela significativa contribuição e crítica ao trabalho.

Aos amigos Régis, Marcos, Carlito, Damiani, Cesar, Felipe, Fábio, Alexandre (Jacaré), Élbio, Giza, Davide, Geórgia, Jesué, Marcel e tantos outros que sempre apoiaram, ajudaram e fazem a vida ser mais alegre.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - UMA VISÃO GERAL	1
1.2 – ESCLARECIMENTO, JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	3
1.3 - OBJETIVO.....	4
1.4 - RESULTADOS ESPERADOS	4
1.5 - METODOLOGIA DE PESQUISA E ESTRUTURAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
1.6 - LIMITES DO TRABALHO.....	6
CAPÍTULO 2 - CONTROLE DO PROCESSO	7
2.1 CONCEITO DE PROCESSO	7
2.2 CARACTERÍSTICO DE QUALIDADE	8
2.3 QUALIDADE DO PRODUTO	9
2.4 CONCEITO DE CONTROLE DO PROCESSO.....	9
2.5 CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS DE CONTROLE	10
2.6 POR QUÊ SE CONTROLAR O PROCESSO?.....	12
2.7 - CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS	14
2.8 - CONCEITO ESTATÍSTICO DE VARIAÇÃO	15
2.9 - CAPACIDADE DO PROCESSO.....	19
2.10 – AUTO-CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA	21
CAPÍTULO 3 - ABORDAGENS DE IMPLANTAÇÃO.....	23
3.1 - ABORDAGENS DA LITERATURA	23
3.1.1 - <i>Abordagem Motorola</i>	23
3.1.2 <i>Abordagem Breyfogle III</i>	27
3.1.3 – <i>Abordagem Montgomery</i>	29
3.1.4 – <i>Abordagem Owen</i>	31
3.2 – ABORDAGEM UTILIZADA NA INDÚSTRIA B	36

CAPÍTULO 4 - POR QUE O CEP FALHA?	40
4.1 - ERROS ASSOCIADOS AO PLANEJAMENTO E IMPLANTAÇÃO DO CEP	41
4.2 - ERROS ASSOCIADOS AO GERENCIAMENTO	50
4.3 - ERROS ESTATÍSTICOS.....	53
CAPÍTULO 5 - UMA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO E GERENCIAMENTO DO CEP	60
5.1 - PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO	62
5.1.1 - <i>Definição dos objetivos do CEP</i>	62
5.1.2 - <i>Definição do Sistema Integrado de Gerenciamento da Qualidade</i>	63
5.1.3 - <i>Seleção dos Processos</i>	65
5.1.4 - <i>Seleção dos Característicos de Qualidade</i>	66
5.1.5 - <i>Planejamento da Mudança Organizacional</i>	67
5.2. - METODOLOGIA ESTATÍSTICA DE AVALIAÇÃO PARA A IMPLANTAÇÃO	73
5.2.1 - <i>Elaboração do mapa de processo: entendendo as fontes de variação</i>	74
5.2.2. - <i>Padronização das Tarefas Operacionais</i>	77
5.2.3 - <i>Diretrizes para a análise qualitativa dos dados e planejamento (organização das amostras</i>	79
5.2.4- <i>Avaliação da estabilidade do processo</i>	85
5.2.5 - <i>Avaliação da capacidade de processos</i>	103
5.2.6 - <i>Crêterios para seleção das cartas de Shewhart para o controle do processo</i>	119
5.2.7 - <i>Tamanho e freqüência de amostragem para cartas de Shewhart</i>	125
5.3 - GERENCIAMENTO DE PROCESSOS: ESTABELECIMENTO DA ROTINA.....	132
5.3.1 - <i>Determinação das etapas do controle para manter (SDCA)</i>	135
5.3.2 - <i>Determinação das etapas do controle para melhorar (PDCA)</i>	138
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS.....	140
6.1 – CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO	140
6.2 – COMENTÁRIOS FINAIS SOBRE O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS	141

6.3 – LIMITAÇÕES DO TRABALHO E DIFICULDADES ENCONTRADAS	143
6.4 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	143
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ENTRADA E SAÍDA DE UM PROC. DE PROD. (MONTGOMERY, 1991, P. 12)	7
FIGURA 2 - ALÇA DE FEEDBACK (JURAN, 1993, P. 150).....	10
FIGURA 3 – SISTEMA DE CONTROLE DETECTIVO	11
FIGURA 4– SISTEMA DE CONTROLE PREVENTIVO	12
FIGURA 5 – HISTOGRAMA DEMONSTRANDO A VARIABILIDADE DE UM PROCESSO (WERKEMA, 1995B, P. 118).....	13
FIGURA 6 - PROCESSOS SOB CONTROLE E FORA DE CONTROLE ESTATÍSTICO (WERKEMA, 1995B, P. 118).....	16
FIGURA 7 – EXEMPLO DE CARTA DE CONTROLE.....	17
FIGURA 8 - EXEMPLOS DE TRAJETÓRIAS NÃO ALEATÓRIAS DE PROCESSOS EM ESTADO FORA DE CONTROLE.....	18
FIGURA 9– DISTRIBUIÇÃO NORMAL DE UM PROCESSO CENTRADO COM C_p IGUAL A 1. (MONTGOMERY, 1991, P. 366).....	21
FIGURA 10 – ETAPAS DA ABORDAGEM MOTOROLA.....	24
FIGURA 11 – ETAPAS DA ABORDAGEM BREYFOGLE III.....	27
FIGURA 12 – ETAPAS DA ABORDAGEM MONTGOMERY	29
FIGURA 13 – ETAPAS DA ABORDAGEM OWEN.....	32
FIGURA 14 – ETAPAS DA ABORDAGEM DA INDÚSTRIA B.....	36
FIGURA 15 - SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DA QUALIDADE: FASES DA TRILOGIA X FERRAMENTAS.....	63
FIGURA 16 – INTEGRAÇÃO DO CEP COM OUTRAS FERRAM.DA GESTÃO DA QUALIDADE.....	64
FIGURA 17 - MAPA DE PROCESSO	76
FIGURA 18 – IMPORTÂNCIA DA PADRONIZAÇÃO DAS TAREFAS OPERACIONAIS.....	77
FIGURA 19 -PROCEDIMENTO PARA AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE PROCESSOS	86
FIGURA 20 - EXEMPLO DE PLANO DE AMOSTRAGEM.....	88

FIGURA 21 – PONTOS FORA DOS LIMITES DE CONTROLE (WERKEMA, 1995B, P. 218-222)	91
FIGURA 22 – SEQUÊNCIA, ADAPTADO DE (WERKEMA, 1995B, P. 218-222)	92
FIGURA 23 – PERIODICIDADE (WERKEMA, 1995B, P. 218-222)	92
FIGURA 24 - TENDÊNCIA (WERKEMA, 1995B, P. 218-222).....	93
FIGURA 25 – APROXIMAÇÃO DOS LIMITES DE CONTROLE (WERKEMA, 1995, P. 218-222)	93
FIGURA 26 – APROXIMAÇÃO DA LINHA MÉDIA (WERKEMA, 1995, P. 218-222)	94
FIGURA 27 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO MOTOR ELÉTRICO.....	96
FIGURA 28 – CARTA P PARA FIO FORA DE RANHURA (MINITAB, 1998)	98
FIGURA 29 – CARTA P COM LIMITES DE CONTR. REVISADOS PARA FIO FORA DE RANHURA	99
FIGURA 30 – CARTA X-AM PARA ACIDEZ TOTAL (MINITAB 1998)	100
FIGURA 31 - FUNÇÃO DE AUTOCORRELAÇÃO PARA ACIDEZ TOTAL (MINITAB 1998).....	102
FIGURA 32 – FLUXO DE AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE PROCESSOS.....	103
FIGURA 33 – CARTA PARA TODAS AS CAVIDADES (MINITAB 1998)	113
FIGURA 34 – TESTE DE NORMALIDADE PARA TODAS AS CAVIDADES (MINITAB 1998)	114
FIGURA 35 – CÁLCULO DE CAPACIDADE PARA TODAS AS CAVIDADES (MINITAB 1998)	115
FIGURA 36 – TESTE DE NORMALIDADE PARA A CAVIDADE 1(MINITAB 1998)	116
FIGURA 37 – TRANSFORMAÇÃO BOX-COX PARA CAVIDADE 1 (MINITAB 1998)	116
FIGURA 38 – CARTA X-AM PARA CAVIDADE 1 (MINITAB 1998).....	117
FIGURA 39 – CÁLCULO DA CAPAC. PARA CAVIDADE 1 UTILIZANDO DADOS TRANSF.....	117
FIGURA 40 – CÁLCULO DA CAPACIDADE PARA A CAVIDADE 1 (MINITAB 1998).....	118
FIGURA 41 – CÁLCULO DA CAPAC. CONSIDERANDO DISTRIB. NORMAL (MINITAB 1998).....	119
FIGURA 42 – FLUXO PARA SELEÇÃO DA CARTA DE CONTROLE PARA CONTROLE DO PROCESSO (MONTGOMERY, 1991, P.350).....	120
FIGURA 43 – CURVAS CARACTERÍSTICAS DE OPERAÇÃO PARA A CARTA DE CONTROLE X COM LIMITES 3σ .(MONTGOMERY, 1991, P.227).....	127
FIGURA 44 – CURVAS CARACT. DE OPERAÇÃO PARA A CARTA DE CONTROLE R COM LIMITES 3σ (MONTGOMERY, 1991, P.228).....	127
FIGURA 45 – ARL PARA A CARTA X COM LIMITES 3σ .(MONTGOMERY, 1991, P. 230).....	128
FIGURA 46 – CICLO PDCA	133
FIGURA 47 – CICLOS SDCA E PDCA NO GERENCIAMENTO DE PROCESSOS	133
FIGURA 48 - CONTROLE PARA MANTER (CAMPOS, 1994, P. 197)	135

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DA CAPAC. DE PROC. PARA UMA REFERÊNCIA DE $C_{pk} = 1,33$	20
TABELA 3 - FONTES DE VARIAÇÃO QUE AFETAM UM SISTEMA DE MEDIÇÃO	80
TABELA 4 – DADOS REFERENTES AO DEFEITO “FIO FORA DE RANHURA”.....	97
TABELA 5- DADOS COLETADOS PARA A AVAL. DA ESTABILIDADE DE UM PROC. QUÍMICO.	100
TABELA 6 – VALORES DE PLANICIDADE PARA 12 CAVIDADES DE UMA INJETORA.....	112
TABELA 7 – EFICIÊNCIA RELATIVA DO ESTIMADOR R (MONTGOMERY, 1991,p. 204)	121

LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

Am – Amplitude móvel

ARL – Average run length (comprimento médio da sequência)

CCO – Curva característica de operação

CEP – Controle estatístico de processos

C_p – Índice de capacidade potencial do processo

C_{pk} – Índice de capacidade real do processo

c_4 – constante para estimativa do desvio padrão populacional a partir do desvio padrão amostral “S”.

d_2 – constante para estimativa do desvio padrão populacional a partir da amplitude amostral “R” .

DOE – Design of experiments (Planejamento estatístico de experimentos)

FCU – Fabricação classe universal

FMEA – Failure mode and effect analysis (Análise do modo e efeito da falha)

LIC – Limite inferior de controle

LIE – Limite inferior de especificação

LSC – Limite superior de controle

LSE – Limite superior de especificação

OCAP – Out-of-control action plan (Plano de ação para sinal fora de controle)

POP – Procedimento Operacional Padrão

QC Story – Método de análise e solução de problemas

QFD – Quality function deployment (Desdobramento da função qualidade)

PDCA – Plan-Do-Check-Action (Planejar – Fazer – Verificar – Agir)

R – Amplitude amostral

SDCA - Standard-Do-Check-Action (Seguir padrão – Fazer – Verificar – Agir)

σ - Desvio padrão populacional

S – Desvio padrão amostral

\bar{S} - Média dos desvios padrão amostral

X – valor individual de uma medida qualquer em uma carta de controle

\bar{X} - Média amostral

$\bar{\bar{X}}$ - Média das médias amostrais

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Uma visão geral

Controle Estatístico de Processos, doravante denominado CEP, é o termo chave deste texto, que demonstra um resumo da pesquisa bibliográfica e observações empíricas acerca do tema. O CEP constitui-se de um conjunto de técnicas e ferramentas estatísticas, organizadas de modo a proporcionar, através da aplicação destas, a manutenção e 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 uma organização.

O avanço e desenvolvimento destas estratégias acompanham a história da qualidade. E esta história tem seu marco inicial bem cedo, pois as necessidades pela qualidade existiram desde o início da própria existência humana (JURAN, 1993, p.12). Entretanto, ao longo dos séculos, as estratégias de gerenciamento para a qualidade sofreram constantes modificações em resposta a sucessão contínua de mudanças nas forças políticas, sociais e econômicas. Logo, a evolução e sistematização dos diversos métodos e ferramentas da qualidade estiveram (e estão) diretamente relacionadas, principalmente, à evolução dos processos e desafios do meio industrial¹.

No entanto foi somente no século XX que a sistematização das estratégias da qualidade ganhou força, tendo as técnicas estatísticas exercido um papel fundamental em toda essa trajetória. A Segunda Guerra Mundial foi um dos principais catalisadores da aplicação das ferramentas estatísticas. As famosas técnicas de inspeção foram desenvolvidas e amplamente utilizadas na indústria bélica após o *War Production Board* ter organizado uma série de cursos em torno de uma estratégia denominada "Controle Estatístico da Qualidade - CEQ". Após a Segunda Grande Guerra o maior catalisador da aplicação de técnicas estatísticas foi o próprio Japão, na luta pela reconstrução do país destruído após a Guerra (JURAN, 1993, p. 6-7). No entanto, um pouco antes, neste caminho evolucionário, surge o CEP, uma das primeiras ferramentas reconhecidamente desenvolvida e aplicada no meio industrial. Mais precisamente este fato situa-se lá pelos idos de 1920, quando Shewhart propôs a aplicação de cartas de controle na empresa de telefonia *Bell Telephone Laboratories*. Este fato representa o início do controle da qualidade moderno (WERKEMA, 1995a, p.1).

Mas apesar da idade desta ferramenta de gestão de processos, o CEP tem sido desenvolvido e estudado por muitas instituições, além de intensamente praticado por diversas outras empresas. Recentemente muitas universidades e outras instituições têm intensificado a pesquisa em torno deste tema. Já a constante aplicação no meio industrial tem sido, também, estimulada nos últimos tempos por algumas normas descritas por

¹ Nos últimos anos muitas técnicas foram criadas e/ou adaptadas também para outros segmentos da sociedade, tais como serviços públicos, saúde e comércio.

organismos internacionais. Dentre estas destacam-se a série ISO 9000² e a QS 9000³. Ambas, no item 4.20, se não fazem referência direta ao CEP, induzem a utilização desta ferramenta como um meio estatístico de controle de processos (NBR-ISO 9001, 1994) E (QS 9000, 1995).

Desconsiderando as exigências normativas, existem outros motivos mais importantes que levam uma organização a implantar o CEP. Poderíamos abordar este assunto explicando a importância da qualidade para as indústrias produtoras de bens e serviços. A literatura específica sobre qualidade é vasta em demonstrar esta dita importância. Entretanto, vamos usar uma outra abordagem, a princípio, mais direta.

Em suma, quando se trata de CEP, todos os resultados importantes que podem ser agregados a um negócio são provenientes da redução da variabilidade dos processos. E quais são estes resultados? Inicialmente, o objetivo maior de qualquer organização capitalista produtora de bens e serviços é a obtenção de lucros, que garantam a sua sobrevivência em um mercado competitivo. Se denominarmos, de forma simples, lucro como a diferença entre receita e despesas, temos que:

$$\text{Lucro} = \text{Receitas} - \text{Despesas}$$

Utilizando as propriedades da matemática só existem 3 formas de se aumentar o lucro:

1. Aumentando-se a receita
2. Reduzindo-se as despesas
3. Aumentando-se as receitas e reduzindo-se as despesas

Neste contexto, existem basicamente duas formas de como o CEP pode contribuir para o aumento do lucro de uma empresa:

- **CEP como agente redutor de despesas**

O CEP potencialmente reduz os custos de fabricação através da redução da variabilidade, ou dito de outra forma, através da estabilização e melhoria da capacidade do processo⁴. Assim índices de sucata e reprocesso tendem a valores menores, reduzindo-se os desperdícios do processo. Adicionalmente, com a implantação do CEP aumenta-se o conhecimento sobre o processo, aumentando-se o poder de “fogo” para a solução de problemas, reduzindo-se assim, quando da ocorrência desses, os tempos mortos⁵ ou a fabricação de produtos não conformes.

² Conjunto de normas que define as diretrizes gerais para implantação de um sistema de qualidade. Recentemente, principalmente na década de 90, muitas empresas têm procurado certificar seus sistemas de qualidade segundo os critérios estabelecidos em uma das normas desta série, a saber ISO 9001 ou ISO 9002 ou ISO 9003.

³ Norma elaborada por algumas indústrias automobilísticas (Crysler, Ford e GM) que também contém os requisitos básicos para implantação de um Sistema de Qualidade. Esta tem sido submetida aos seus principais fornecedores para certificação dos respectivos sistemas. A principal diferença da série ISO 9000 reside no fato de que a QS 9000 referencia manuais que prescrevem as ferramentas e roteiros para implantação dos diversos itens da norma. Dentre estas ferramentas está o controle estatístico de processos.

⁴ No capítulo 2 é apresentado o conceito de capacidade do processo.

⁵ Tempos de recurso parado, tais como, tempos de máquina parada, tempo de solução de problemas.

- **CEP como agente propulsor de receitas**

Como dito anteriormente, a implantação do CEP tende a estabilizar e aumentar a capacidade de um processo. Isto também representa uma previsibilidade melhor dos níveis de qualidade de um produto. E para se conquistar e manter mercados consumidores é importante vender produtos que ofereçam, além de preços baixos, qualidade estável e em níveis adequados⁶. Um outro fator decorrente da melhoria da capacidade e que também favorece a venda de produtos é a redução de tempos mortos. Quanto melhor a capacidade de um processo, maior o tempo para a produção de produtos bons. Isto é um item relevante para as organizações que têm problemas relacionados a capacidade produtiva, e conseqüentemente, de suprimento de mercados.

1.2 – Esclarecimento, justificativa e relevância do tema

Os recursos estatísticos utilizados para o controle de processos são um importante arsenal no combate de desperdícios através da melhoria da capacidade dos processos. O CEP vem sendo aplicado há muito tempo em todo o mundo. No entanto, a maioria das empresas restringe a aplicação às cartas de controle convencionais, conhecidas como cartas de Shewhart. A problemática consiste nas dificuldades encontradas pelas empresas para a utilização destas ferramentas estatísticas. Não raros são os casos de implantação fracassada. É bastante comum as empresas questionarem os “porquês” das dificuldades. Invariavelmente surgem perguntas do tipo “Por que as cartas de controle não funcionam?”, “Por que o CEP falhou?”, e tantas outras. Dentre as diversas causas deste insucesso está o fato de que muitas empresas aplicam as ditas cartas de controle de Shewhart sem que se faça a distinção entre processos correlacionados e não correlacionados. Estes tipos de cartas são principalmente aplicáveis para estes última categoria de processos.

O ônus resultante destas dificuldades é muitas vezes significativo. Nos casos de insucesso, geralmente, são muitas as horas gastas em planejamento, treinamento e tentativas de utilização das ferramentas estatísticas. Não raras também são a frustração resultante e a resistência à aplicação do CEP. Das 4 empresas analisadas⁷ e que serviram de base para esta dissertação, todas já tentaram pelo menos uma vez implantar o CEP e não obtiveram o sucesso esperado.

Logo, uma análise das causas de insucesso e a elaboração de uma proposta de implantação do CEP se justifica pela própria importância do assunto.

⁶ Apesar da aparente obviedade, a relação entre nível de qualidade (originados de processos com baixa variabilidade) e aumento da fatia de mercado, é difícil de se mensurar, pois não necessariamente o consumidor final vai perceber uma melhor qualidade devido a uma variabilidade menor. Além disso, o aumento da fatia de mercado depende de outras estratégias combinadas de marketing, vendas, posicionamento geográfico, velocidade de atendimento, dentre outras. Contudo, um produto oriundo de um processo com baixa variabilidade é um excelente argumento a ser utilizado a favor da venda do produto.

⁷ Ver item 1.5 - Metodologia de pesquisa e estruturação da dissertação.

1.3 - Objetivo

Analisar as causas de insucesso da implantação do controle estatístico de processos, e propor uma metodologia, sob a forma de diretrizes, que deve direcionar a implantação desta ferramenta.

1.4 - Resultados esperados

Os principais resultados esperados são:

- ter conhecidas as principais variáveis que influenciam na prática do CEP;
- ter analisadas as principais metodologias de implantação propostas por alguns autores que estudaram o assunto;
- ter relacionadas as diretrizes significativas para a implantação de um programa de CEP, estando estas, quando possível, suportadas por exemplos práticos;

1.5 - Metodologia de pesquisa e estruturação da dissertação

A metodologia de pesquisa reflete a seqüência dos capítulos desta dissertação. Por este motivo, as descrições tanto da metodologia quanto da estrutura do texto são realizadas em conjunto.

Capítulo 2: Neste capítulo são apresentados os principais conceitos de CEP, reunidos após uma revisão bibliográfica sobre o assunto.

Capítulo 3: Também através de uma revisão bibliográfica são apresentadas algumas propostas de implantação do controle estatístico do processo encontradas na literatura consultada. Este capítulo é incrementado pelas análises críticas de cada uma das metodologias propostas. Para elaboração deste capítulo e do anterior, algumas revistas e livros foram pesquisados, estando as referências dos mesmos citadas ao longo dos próximos capítulos.

Capítulo 4: Nesse são apresentadas as principais causas de sucesso ou insucesso relacionadas aos programas de controle estatístico do processo. A metodologia utilizada para elaboração deste capítulo foi:

- 1 - Revisão bibliográfica
- 2 - Visitas a empresas: entrevista e contato com as pessoas que trabalham diretamente com as ferramentas estatísticas.

Este caminho foi adotado devido à carência de literatura sobre o tema. Boa parte da literatura específica está direcionada à discussão dos conceitos estatísticos envolvidos no CEP. Uma pequena parte das análises científicas são relacionadas à implantação e gerenciamento da “ferramenta”. Foram analisadas quatro empresas de manufatura consolidadas no mercado nacional que trabalham com mais de 3.000 funcionários:

- ✓ **Empresa A:** empresa do ramo metal-mecânico localizada em Joinville no estado de Santa Catarina. Iniciou a implantação do CEP em 1987. A aplicação em massa proporcionou mais erros que acertos. Durante o período em que a empresa foi visitada aplicava CEP em poucos característicos de qualidade.
- ✓ **Empresa B:** empresa do ramo automobilístico localizada em Taubaté, estado de São Paulo. Tem 18 anos de experiência na implantação do CEP no país, tendo recebido relevante suporte técnico da matriz norte-americana, que é umas das pioneiras na aplicação do CEP. Também aplicava CEP em poucas características da Qualidade de forma eficiente.
- ✓ **Empresa C:** empresa fornecedora de autopeças localizada na cidade de Curitiba, estado do Paraná. Na primeira vez que tentou a aplicação do CEP fracassou. No momento da visita estava procurando reestruturar o CEP na empresa.
- ✓ **Empresa D:** empresa do ramo de eletrodomésticos, localizada na cidade de São Paulo. Aplicava técnicas estatísticas, mais especificamente cartas de pré-controle.

Os nomes das empresas foram omitidas por questões de conveniência. As mesmas serão identificadas ao longo do texto por empresas A, B, C ou D. As visitas, realizadas entre 1994 e 1997, apesar de não apresentarem rigor estatístico em termos de representatividade, são importantes para visualização das dificuldades práticas encontradas por cada organização. Não foram utilizados formulários padrão ou outro método de pesquisa em campo. No entanto, procurou-se em todas as visitas evidenciar o maior número de situações práticas possíveis, seja através da observação ou de relatos das pessoas envolvidas com a implantação do CEP ou dos próprios usuários desta ferramenta. Apesar dos limites deste tipo de pesquisa, que depende da capacidade de avaliação e de constatação do pesquisador, associado à dificuldade de se obter informações precisas e completas, esta prática ajudou a construir a análise crítica contemplada neste capítulo, que é a base do capítulo seguinte.

Capítulo 5: este penúltimo apresenta uma proposta geral de implantação de um programa de CEP. Mais especificamente um conjunto de diretrizes, que poderiam nortear uma implantação de CEP. Poderia este ser incrementado por uma aplicação prática da metodologia proposta. No entanto, isto não foi realizado, devido a limitação de recursos, condições e autoridade necessárias para implantação da metodologia: seria necessário trabalhar com todas as estruturas de uma organização, como pode ser visto nos capítulos seguintes. Em contrapartida, sempre que possível, cada etapa ou passo proposto é acompanhado de exemplos práticos obtidos das empresas visitadas relacionadas no item anterior.

Capítulo 6: o último apresenta uma síntese das principais conclusões obtidas nos capítulos 4 e 5. Aqui são também traçadas recomendações para trabalhos ou pesquisas futuras.

1.6 - Limites do trabalho

Os principais limites do trabalho são constituídos pelos seguintes itens:

1. **Processos de manufatura:** alguns autores apresentam casos de implantação do CEP nas áreas de serviço ou apoio. No entanto, este trabalho se restringe a analisar o CEP aplicado em processos de fabricação.
2. **Inexistência de auto-correlação estatística:** os dados que representam os processos de fabricação devem ser independentes no tempo, isto é, não devem apresentar auto-correlação ao longo de um determinado período. Logo, o foco deste trabalho são as cartas de controle convencionais, também conhecidas como cartas de Shewhart acrescidas de outros modelos aplicáveis a processos cujas observações sejam independentes e normalmente distribuídas. O item auto-correlação será melhor detalhado no capítulo 5.
3. **Ferramentas para o controle de processos:** as cartas de controle podem ser aplicadas de diversas formas em ambientes fabris. Podem ser utilizadas para analisar a capacidade de sistemas de medição, para planejar experimentos (análise das componentes de variação de um processo) e para registros de dados históricos. No entanto, este trabalho restringe-se a analisar as cartas de controle como ferramentas utilizadas para o controle de processos.

CAPÍTULO 2 - CONTROLE DO PROCESSO

Nesta parte do texto serão apresentados os principais conceitos envolvidos com o CEP. O objetivo principal é situar o leitor em relação as principais definições que constituem o alicerce básico de todo o trabalho. Este se inicia com o conceito de processo culminando com os aspectos fundamentais da existência ou não de correlação.

2.1 Conceito de processo

Apesar dos diversos tipos existentes, o conceito de processo pode ser considerado universal. Assim, seja para uma partida de futebol, um almoço com os amigos e até mesmo um processo de manufatura, o conceito pode ser estendido. O conceito clássico tem sido apresentado por diversos autores, destacadamente Campos (1994a, p. 17-18), Montgomery (1991, p. 11-12), Kane (1989, p. 12-14), entre outros. Neste contexto, processo de manufatura, ou qualquer outro processo, genericamente, pode ser definido como um conjunto de causas que tem por objetivo produzir um ou mais efeitos específicos (CAMPOS, 1994a, p. 17-18)..

Particularmente, um processo de manufatura pode ser representado por um sistema provido de entradas e saídas que transforma a matéria prima em produtos acabados conforme demonstra a figura 1 . As entradas são representadas por variáveis de entrada ou parâmetros de processo (causas), e as de saída por características de qualidade (efeito).

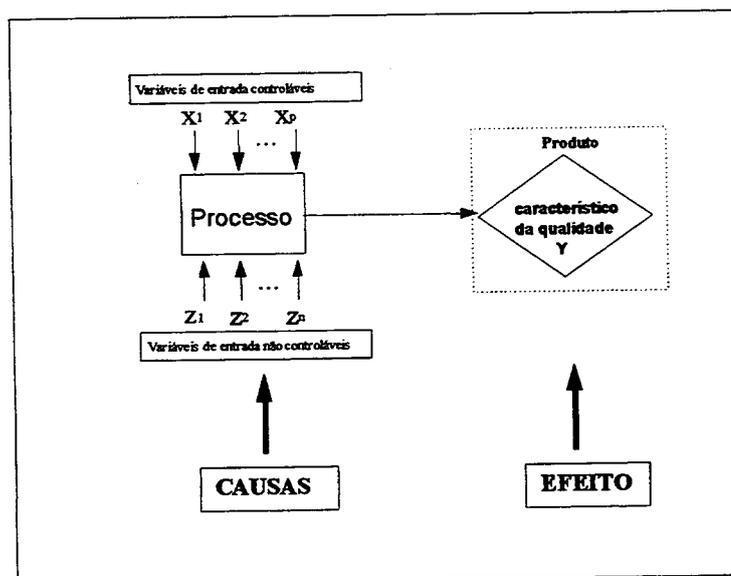


Figura 1 - Entrada e saída de um processo de produção (MONTGOMERY, 1991, p. 12)

Em um processo de manufatura o conjunto de causas é uma combinação de máquinas, ferramentas, materiais, métodos, pessoas e outras causas. Estas são

representadas por variáveis de entrada do processo⁸. Como exemplo um processo de usinagem em que o produto seja um eixo. Dureza da matéria-prima fundida, velocidade de corte, avanço da ferramenta e dureza da ferramenta poderiam ser consideradas as variáveis de processo.

As variáveis de entrada são classificadas em controláveis (x_i) e incontroláveis (z_i). Controláveis são as variáveis em que se pode ter controle tais como temperaturas, pressões, velocidades de corte, etc. Variáveis incontroláveis, que podem ser ou não conhecidas, são as que não se pode ter controle tais como fatores ambientais, satisfação das pessoas, dentre outras. As incontroláveis são também conhecidas como as variáveis perturbadoras de um processo. A classificação das variáveis de um processo em controláveis ou incontroláveis variam de um processo para outro.

2.2 Característico de qualidade

O processo de manufatura transforma as causas de um processo em um produto final, sendo este representado por uma ou mais variáveis de saída. Na figura 1 esta variável é representada pela letra Y. A variável de saída é a medida da qualidade do processo, sendo denominada, por simplificação, de característico de qualidade⁹. Um ou mais característicos de qualidade representam a qualidade do produto. Logo, a qualidade de um produto pode ser representado por:

$$Y = f(x_i, z_i)$$

Como exemplo, suponha que o mesmo processo de usinagem anterior. O diâmetro do eixo poderia ser um característico de qualidade que representa a medida da qualidade do processo e/ou do produto.

Os característicos de qualidade são classificados em atributos e variáveis. Característicos por variáveis são aqueles cujos valores podem ser obtidos por uma escala contínua de medição, ao passo que os característicos por atributos podem ser medidas por escalas discretas¹⁰. São exemplos básicos do primeiro tipo de característica algumas dimensões tais como altura, comprimento e diâmetro de peças. Exemplos de característicos por atributos são tonalidades de cor, quebras, e imperfeições de acabamento. Geralmente, as medições destes últimos são realizadas via inspeção visual, calibradores passa-não-passa, painéis de testes, dentre outros meios (PALADINI, 1995, p.51-55).

⁸ O termo variável do processo é considerado como sinônimo de variável de entrada, sendo frequentemente utilizado na indústria.

⁹ O termo característico de qualidade é considerado como sinônimo de variável de saída por ser mais comumente utilizado na indústria

¹⁰ Algumas vezes característicos por variáveis são transformadas em característicos por atributos. É comum se medir uma amostra de peças por variáveis e se contar a quantidade de defeituosos. Neste sentido, as observações relativas a um característico por atributos são obtidas através de uma escala contínua de medição. Na prática esta atitude representa um desperdício de recursos e informações, pois as medições por variáveis exigem geralmente mais investimentos em termos de equipamentos e materiais de medição, mas apresentam, em contrapartida, um teor mais rico de informações.

2.3 Qualidade do produto

O conceito de qualidade utilizado neste texto é o de adequação ao uso. Isto significa que é essencial que um produto cumpra os requisitos para os quais o mesmo foi projetado (MONTGOMERY, 1991, p.1-3). Neste contexto, existem 2 aspectos importantes relacionados a adequação ao uso:

- qualidade do projeto
- qualidade de conformidade

Qualidade do projeto representa a diferenciação existente entre diversos produtos. Esta diferenciação advém da fase de projeto e é intencional. Todo automóvel tem como função básica transportar pessoas. No entanto eles se diferenciam quanto ao tamanho, cor, opcionais e outros característicos.

Qualidade de conformidade representa a conformidade do produto manufaturado em relação ao valor especificado de projeto.

O conceito de produto defeituoso está relacionado ao conceito de qualidade de conformidade. Toda medição de um característico de qualidade é baseada em uma especificação de projeto. Esta representa o valor alvo que o característico deve ter para que o produto apresente o seu desempenho desejado. Uma especificação é composta de um valor nominal e uma faixa denominada tolerância:

Especificação $\rightarrow w \pm \Delta$, onde:

w = valor nominal

Δ = valor da tolerância

Pode-se então dizer que um produto apresenta qualidade de conformidade, ou é conforme, quando os resultados das medições de um característico qualquer "Y" estão dentro da faixa da tolerância especificada em projeto.

2.4 Conceito de controle do processo

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

1. Avaliação do desempenho real da qualidade
2. Comparação do desempenho real com as suas metas
3. Atuação nas diferenças entre desempenho real e metas

Logo, o conceito de controle é de manter o *status quo*, isto é, de manter o processo em seu estado planejado de modo que ele continue capaz de atingir as suas metas planejadas. Em outras palavras, a manutenção dos níveis de qualidade, ou metas, definidos para um processo é, desta forma, o desafio estipulado para o controle. Devido a entropia, conceito que será abordado no próximo capítulo, existem diversos tipos de acontecimentos

que tendem a prejudicar a capacidade do processo em atingir estas metas. Resulta daí, que o controle, através da ação imediata para manter o *status quo* procura minimizar estes prejuízos. Numa abordagem preventiva pode-se dizer que o controle objetiva evitá-los.

A prática do controle pode ser melhor entendida através da alça de *feedback*:

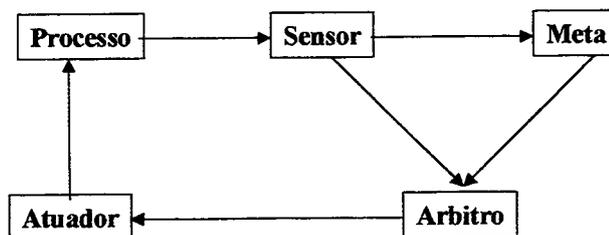


Figura 2 - Alça de feedback (JURAN, 1993, p. 150)

O controle na abordagem da alça de *feedback* é realizado de acordo com os seguintes eventos:

1. O processo fornece produto e um sensor mede o desempenho deste.
2. Um árbitro observa o desempenho e compara este a uma meta padrão.
3. Se a diferença justifica uma ação o árbitro aciona o atuador.
4. O atuador executa as ações necessárias para ajustar o desempenho do processo aos valores desejados.

Logo, o controle visa garantir a qualidade do produto através de um conjunto de atividades executadas sobre o processo.

2.5 Classificação dos sistemas de controle

O processo e o conjunto dos recursos e atividades para seu controle são denominados sistemas de controle. Estes podem ser classificados em detectivos e preventivos (OWEN, 1989, p. 10-11).

Sistema de controle detectivo

É o conjunto de atividades de monitoramento da qualidade do produto após este ter sido produzido. O método utilizado é a inspeção, sendo o seu maior objetivo definir se um determinado produto ou lote já produzido deve ou não ser aceito. Basicamente o fluxo de controle detectivo é determinado pelas seguintes atividades, conforme demonstra a figura 3:

1. Medição da performance do característico de qualidade
2. Avaliação dos resultados da performance: comparação com os valores especificados
3. Ação sobre o produto: aceita ou rejeita

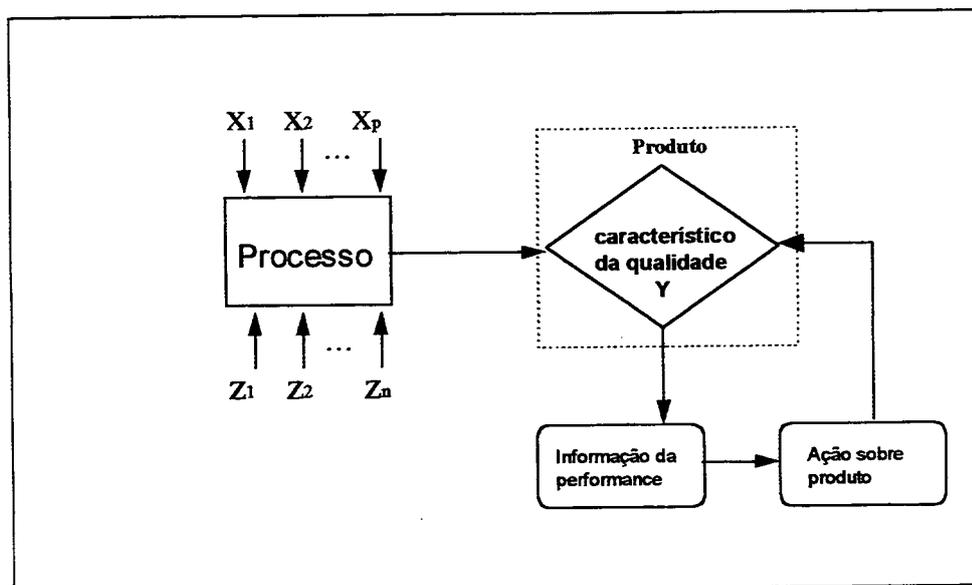


Figura 3 – Sistema de controle detectivo

Sistema de controle preventivo:

Conjunto de atividades de controle das condições do processo, visando evitar que sejam produzidos produtos defeituosos. As técnicas mais comumente utilizadas são o Controle Estatístico do Processo e Controle Automático de Processos. O fluxo de controle do processo preventivo tem as seguintes etapas, conforme demonstra a figura 4:

1. Medição da performance de uma variável do processo ou característico do produto
2. Avaliação dos resultados da performance: comparação com os valores especificados
3. Quando a avaliação indicar que o resultado da performance não atingiu o valor desejado é tomado uma ação sobre o processo, visando corrigir suas condições de funcionamento, de forma a evitar que produtos defeituosos sejam produzidos. Adicionalmente pode-se tomar uma ação sobre o produto tais como segregação para posterior inspeção. Muitas vezes o controle preventivo indica que ações sobre o projeto são também necessárias para manter seus resultados dentro das metas estabelecidas.

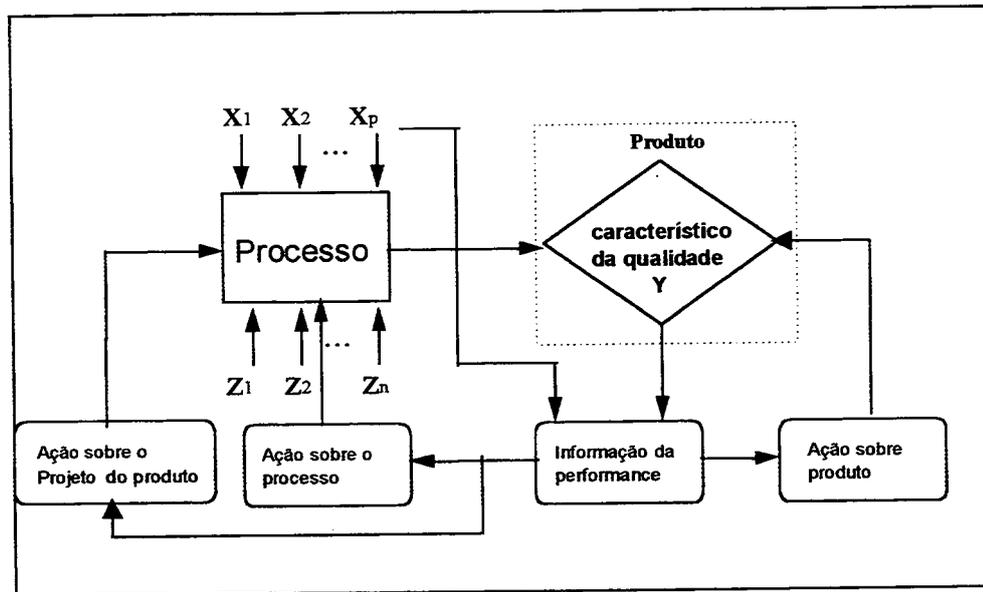


Figura 4— Sistema de controle preventivo

2.6 Por quê se controlar o processo?

Detalhando os motivos expostos no capítulo 1, um processo necessita ser controlado devido à três motivos:

- 1 - Variabilidade
- 2 - Entropia
- 3 - Custo

Variabilidade

O estado ideal do controle do processo seria a inexistência de controle, isto é, a qualidade do produto estaria garantida durante todas as etapas de manufatura sem a necessidade de atividades de controle, em outras palavras, todos os produtos seriam não defeituosos. A pergunta que se segue é: por que existem produtos defeituosos?

A resposta está na variabilidade, e esta, as vezes, é suficientemente significativa ao ponto de afetar a qualidade do processo, e conseqüentemente do produto. O fato é que não existe processo sem variabilidade, portanto, não é possível eliminá-la. Em outras palavras, a variabilidade é a razão da existência de produtos diferentes. Esta pode ser significativa ou até mesmo muito pequena, mas sempre estará presente. Pode-se então concluir que a melhor alternativa é aceitar a existência da variabilidade, mas economicamente a valores mínimos. Desta forma um processo que produz produtos não defeituosos é aquele cujas variabilidades são mantidas dentro de valores adequados.

Logo, os produtos diferenciam-se entre si devido às variações existentes entre matérias-primas, equipamentos, condições ambientais, mão-de-obra e outros. (WESTERN ELECTRIC COMPANY, 1967,p.6). Variabilidade representa, então, a medida da dispersão de um conjunto de valores reais apresentado por um característico de qualidade, devido a variação das variáveis de entrada. Pode-se então dizer que os resultados das medições de um mesmo característico de qualidade “Y” podem ser diferentes entre si.

O histograma é uma ferramenta estatística que pode ser utilizada para demonstrar a variabilidade. Suponha que após manufaturado um lote de produtos, fossem medidas as dimensões de um característico qualquer. Imagine um conjunto de medidas de uma determinada dimensão “Y”. Seria possível com esse conjunto de dados construir um histograma para observar a variabilidade do processo. A figura 5 apresenta a construção de um histograma que demonstra a distribuição de probabilidades de um determinado conjunto de dados:

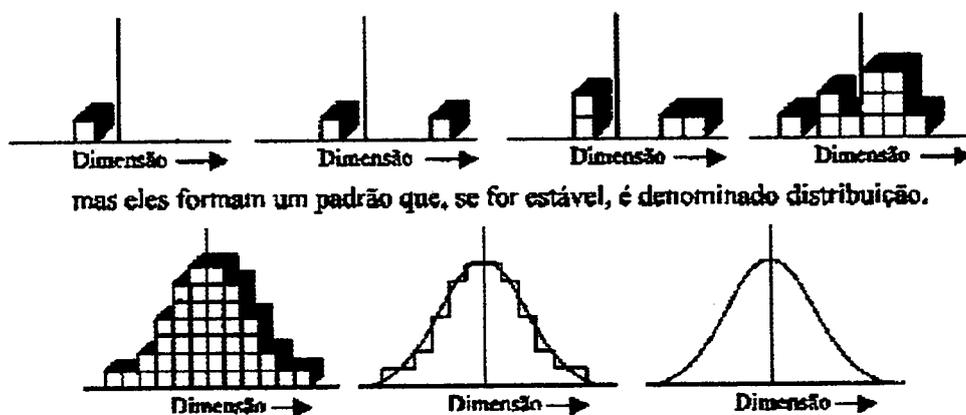


Figura 5 – Histograma demonstrando a variabilidade de um processo (WERKEMA, 1995b, p. 118)

Se não existisse variação, teríamos um histograma concentrado em um único ponto, isto é, todos os valores seriam iguais. No entanto, devido a variação, na figura 5 podemos identificar os seguintes parâmetros:

\bar{Y} - valor médio das medidas y_1, y_2, \dots, y_n
 σ_y - desvio padrão das medidas y_1, y_2, \dots, y_n

Onde σ_y é o desvio padrão do conjunto de dados e quantifica a variabilidade do processo. Desta forma, para um mesmo característico de qualidade, quanto menor o desvio padrão menor a variabilidade, e portanto, melhor a qualidade do processo.

Resumindo, a variabilidade de um processo é representada pela variabilidade de suas saídas, isto é, pela variabilidade dos valores de um determinado característico de qualidade, que por sua vez é função das variabilidades das variáveis de entrada. Quando estas variabilidades são significativas em relação às especificações de projetos, corre-se o risco de se ter produtos não conformes, e este é um dos motivos da existência do controle do processo.

Entropia

Entropia é um conceito da área de conhecimento Termodinâmica. A entropia está relacionada a tendência de desordem natural das coisas do universo. O efeito da entropia no processo é explicado por Box et al. (1997, p. 128). Suponha um processo ideal, isto é, aquele que não necessitaria de controle e apresentasse as seguintes condições: estado de controle estatístico (ver item 2.8) e ainda produz 100% de produtos conformes centrado no valor ótimo da especificação. Mesmo um processo que apresenta estas condições necessita ser controlado, nem que a frequência de controle seja muito reduzida. O principal motivo é que estas condições não são permanentes, ambas estão sujeitas a se deteriorarem com o tempo devido ao efeito da entropia.

Em outras palavras, Box et al. (1997, p.128) relatam que:

“... nós necessitamos de controle porquê vivemos em um mundo não estacionário, onde, se deixadas sozinhas, máquinas não permanecem ajustadas, operadores esquecem ou mudam suas tarefas, e as coisas tendem a se deteriorar. Em resumo, nosso mundo é governado pela segunda lei da termodinâmica, onde a entropia (ou desorganização) de algum sistema não controlado tende naturalmente a aumentar.”.

Resumidamente, um processo em estado de controle estatístico tende a um estado fora de controle, se as fontes de variação deste não forem controladas. Box ainda acrescenta que o controle não elimina o efeito da lei da entropia, apenas reduz consideravelmente a sua influência. Logo, a entropia é a outra razão que justifica a necessidade de controle

Custo

Um processo pode operar em estado fora de controle e produzir uma parcela de produtos não conformes, mas isto pode representar um elevado custo. Por esta abordagem o controle se justifica como redutor de custo (MONTGOMERY, 1991, p. 3-5). Em função dos preços muitas vezes competitivos estabelecidos pelo mercado, a sobrevivência de uma empresa, isto é, a obtenção de lucros, advém muitas vezes do volume de produtos produzidos. Desta forma, quanto mais produtos conformes forem produzidos, menores serão os custos de fabricação (desperdícios) e maiores os lucros da empresa em função das atividades de controle que objetivam reduzir ou eliminar a produção de itens não conformes.

2.7 - Controle estatístico de processos

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 entende-se a coleta, representação e análise de dados de um processo (OWEN, 1989, p. 2).

Dentre o conjunto de técnicas disponíveis as mais comumente usadas são as cartas de controle. Essas são classificadas em cartas para variáveis e cartas para atributos. As para variáveis são utilizadas para características de qualidade por variáveis (ver item 2.2). Existem cartas de controle por variáveis para controle de medidas de tendência central e

para controle de dispersão. As cartas para atributos respectivamente são para característicos por atributos.

Resumidamente, o CEP é uma metodologia que potencialmente permite conhecer o processo, manter o mesmo sob estado de controle estatístico e melhorar a capacidade do mesmo. Tudo isso se resume a redução de variabilidade do processo.

2.8 - Conceito estatístico de variação

No item 2.6 foi mostrado que os produtos manufacturados possuem diferenças entre si, sendo estas originadas pela variação das variáveis de entrada do processo. Quando estas diferenças são significantes em relação às especificações de projeto corre-se o risco de se ter produtos não conformes, isto é, produtos que não atendem às especificações.

As fontes de variação de um processo geralmente são classificadas nos seguintes grupos¹¹:

- .Matéria-prima
- .Ferramentas
- .Meios de medição
- .Máquinas
- .Operacional
- .Métodos de trabalho
- .Meio ambiente
- .Gerencial

Alguns exemplos de causas de variação que são:

- .Desgaste de ferramentas
- .Matérias-primas fora da especificação
- .Método de trabalho incorretos
- .Gerenciamento inadequado
- .Erros humanos

Estas causas, por sua vez, podem ser classificadas em comuns e especiais¹². Causas comuns são as que fazem parte da natureza do processo, sendo responsáveis pela variabilidade natural do processo (GRAÇA, 1996, p. 84-85). São difíceis de ser identificadas, geralmente sendo uma conjugação de diversas fontes de variação. No entanto, o efeito desta conjugação, geralmente, são fáceis de serem medidos. São também difíceis de ser eliminadas economicamente, necessitando geralmente de intervenções gerenciais tais como troca de máquina, alteração do produto, etc.

Em um processo de produção bem projetado e cuidadosamente mantido, uma variação natural ou inerente sempre existirá, conforme também já dito anteriormente. Esta

¹¹ Uma outra denominação utilizada comumente é fator de manufatura ou 6 M's, 7 M's etc.

¹² Também conceituadas como causas aleatórias e causas assinaláveis (WICK e VEILLUX, 1987)

variabilidade natural é o efeito acumulado de causas inevitáveis. Em outras palavras, causas comuns são parte inerente do processo.

Causas especiais, por sua vez, são as causas específicas, acidentais e imprevisíveis que geralmente afetam uma determinada operação da máquina, operador ou período de tempo (GRAÇA, 1996, p. 84-85). São mais fáceis de serem identificadas, estando quase sempre no domínio do operador, gerente ou pessoal de apoio. Quando detectadas devem ser prontamente eliminadas para não afetarem o desempenho do processo.

Os conceitos de causas comuns e causas especiais permitem classificar o sistema de ações corretivas do CEP em 2 tipos:

.CEP operacional: tem por objetivo a eliminação de causas especiais. O CEP operacional corresponde as atividades de utilização de recursos estatísticos básicos, tais como cartas de controle, junto aos processos de manufatura visando manter estes sob controle.

. CEP gerencial: tem por objetivo a eliminação de causas comuns. O CEP gerencial corresponde as atividades de utilização de recursos estatísticos mais avançados, tais como metodologias de solução de problemas e DOE – *Design of Experiments* (planejamento estatístico de experimentos) visando reduzir a variabilidade dos processos. O objetivo da redução da variabilidade é o aumento da capacidade do processo (ver item 2.9).

Uma vez entendidos os conceitos de causa comum e especial, é possível explicar o significado estatístico da variabilidade, isto é, o conceito de estado, ou falta, de controle estatístico. Um processo apresenta-se sob estado de controle estatístico quando o mesmo apresenta uma variabilidade estatisticamente estável e uniforme ao longo do tempo, conforme demonstra a figura 7. Processos sob estado de controle estatístico apresentam apenas causas comuns de variação. Por outro lado, um processo se apresenta fora do estado de controle estatístico quando o mesmo apresenta uma variabilidade estatisticamente instável e não uniforme ao longo do tempo, conforme também demonstra a figura 7. Processos fora do estado de controle estatístico apresentam causas comuns e especiais de variação.

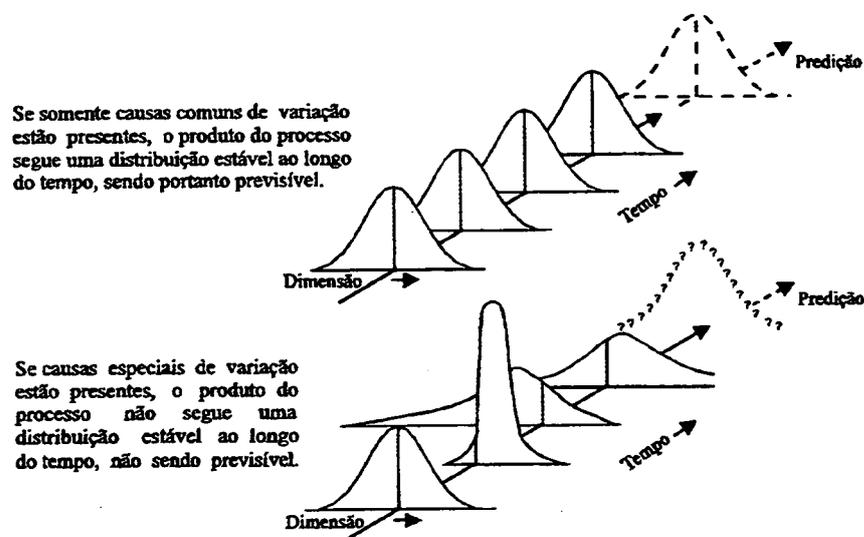


Figura 6 - Processos sob controle e fora de controle estatístico (WERKEMA, 1995b, p. 118)

Na prática, o estado estatístico de variação do processo pode ser representado em uma carta de controle. A figura 8 apresenta um processo, a princípio, sob o estado de controle estatístico.

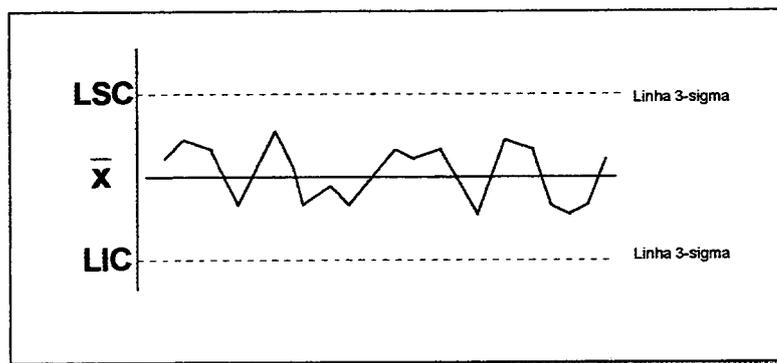


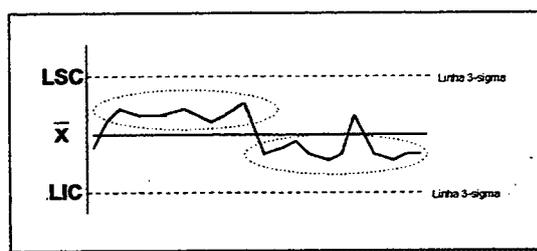
Figura 7 – Exemplo de carta de controle

Onde: LSC – limite Superior de controle

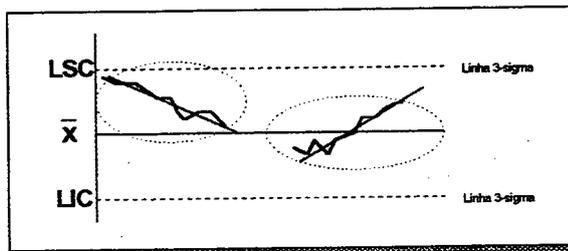
LIC – Limite inferior de controle

Se os pontos estão dentro dos limites de controle LIC e LSC, determinados estatisticamente, e a trajetória formada por estes pontos seguem um padrão aleatório, assume-se que o processo está sob controle, e nenhuma ação é necessária. Por outro lado, se um ponto cai fora dos limites de controle, a princípio, existe uma evidência de que o processo está fora de controle, isto é, pode existir uma ou mais causas especiais. Uma investigação e tomada de ações são necessárias. Mas mesmo os pontos estando dentro dos limites de controle o processo pode estar fora de controle estatístico. Neste caso as trajetórias descritas pelos pontos mostram um padrão não aleatório. Alguns autores têm apresentado exemplos destas trajetórias e regras para identificá-las. (Western Electric Company Handbook ,1967, p.25-29).

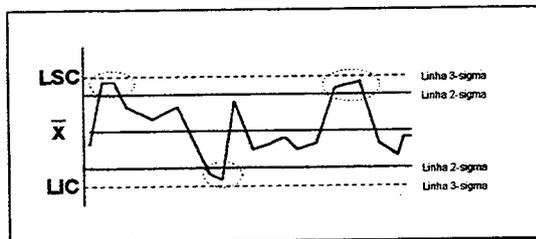
A figura 9 demonstra alguns exemplos de falta de controle, isto é, de comportamento anormal das trajetórias dos pontos.



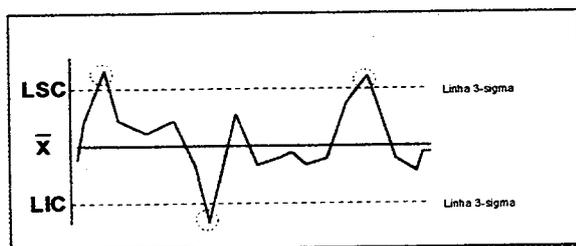
a) Deslocamento da média



b) Tendências



c) Sequência de pontos fora dos limites 2 sigmas



d) Pontos fora dos limites 3 sigmas

Figura 8 - Exemplos de trajetórias não aleatórias de processos em estado fora de controle

Na parte a) da figura 9 temos um caso típico de média deslocada do processo, demonstrada por vários pontos consecutivos acima ou abaixo da linha média. Na parte b) têm-se casos típicos de seqüências ascendente ou descendente. Já na parte c) têm-se pontos consecutivos na região entre 2σ e 3σ do gráfico de controle, em intervalos aproximadamente regulares. Na última parte da figura têm-se pontos fora dos limites de controle a intervalos regulares. Todas essas trajetórias têm causas, a princípio, distintas. Diferentes variáveis de entrada do processo estão ocasionando estes comportamentos. No entanto, cada processo apresenta um comportamento diferenciado. Para alguns autores 7 pontos consecutivos acima ou abaixo da linha média representam um indicativo de falta de controle. Para outros bastam 5 pontos. O mais importante é reconhecer que não existem regras universais de identificação de trajetórias não aleatórias que sejam aplicadas a todo e qualquer tipo de processo. A prática do CEP demonstra que estas regras gerais devem ser adaptadas.

2.9 - Capacidade do processo

Capacidade é a medida da variabilidade de um processo estável em relação as especificações de projeto. Em outras palavras, esse conceito está associado a capacidade de um processo de produzir produtos cujos resultados atendam as especificações de projeto. Segundo este conceito, um processo, quanto a capacidade, pode ser classificado em:

. **Processo capaz:** quando os resultados das medições dos característicos de controle estão dentro do intervalo especificado em projeto, isto é, estatisticamente não estão sendo produzidos produtos defeituosos.

. **Processo incapaz:** quando os resultados das medições dos característicos de controle estão fora do intervalo especificado em projeto, isto é, estatisticamente existem indicações que estão sendo produzidos produtos defeituosos.

Como definido intrinsecamente no conceito, não faz sentido avaliar a capacidade de processos fora do estado de controle estatístico. Assim a capacidade de um processo só deve ser avaliada se a variação do processo for devido apenas às causas comuns.

A maior vantagem da avaliação da capacidade do processo é a quantificação da variabilidade do mesmo. Logo, a medida que o CEP vá sendo praticado é importante avaliar a capacidade do processo para se quantificar os ganhos que estão sendo obtidos.

Dentre os métodos difundidos de avaliação o mais usual é o que propicia o cálculo dos índices de capacidade C_p e C_{pk} . Para um processo representado por uma distribuição normal é comum utilizar uma dispersão 6σ de referência. O índice de capacidade C_p , também denominado índice de capacidade potencial do processo, e é calculado da seguinte forma:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

onde:

LSE - Limite Superior de Especificação do produto ou processo

LSI - Limite Inferior de Especificação do produto ou processo

Observe que o denominador da fórmula representa a dispersão do processo (ou variabilidade), enquanto o numerador representa a tolerância especificada para o produto. Este índice é denominado potencial pois compara apenas os tamanhos da dispersão do processo e do intervalo de tolerância do produto, não levando em consideração a posição relativa entre ambos.

Para medir as posições relativas entre a dispersão do processo e a tolerância do produto é utilizado o índice de capacidade real do processo, C_{pk} , calculado da seguinte forma:

$$C_{pl} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

$$C_{pu} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma}$$

$$\text{Sendo } C_{pk} = \min \{C_{pl}, C_{pu}\}$$

Onde \bar{X} representa a média das observações que representam o processo.

Valores típicos de C_p e C_{pk}

Os valores de referência de C_p e C_{pk} variam muito de uma empresa para outra. Muito comum é se adotar o valor referência de 1,33. Esse valor indica que é possível trabalhar com uma dispersão de amplitude 8σ dentro do campo de tolerância do produto.

Muitas empresas para manutenção de contratos têm exigido de seus fornecedores índices de C_p e C_{pk} de no mínimo nesta ordem. Para esse caso, o processo, quanto a sua capacidade, pode ser classificado conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 - Classificação da capacidade de processos para uma referência de $C_{pk} = 1,33$

Índice	Comentário
$C_{pk} < 1,00$	Incapaz
$1,00 \leq C_{pk} < 1,33$	Relativamente capaz
$C_{pk} \geq 1,33$	Capaz

Relações típicas entre C_p e C_{pk}

Quando C_p é alto ($\geq 1,33$) e C_{pk} é baixo ($< 1,0$) tem-se o caso típico em que dispersão é adequada, porém a média está deslocada. Para esses as ações geralmente indicadas são operacionais, resumindo-se muitas vezes na regulagem de máquina para centralização do processo. Portanto, se um processo estiver produzindo peças cujos resultados das medições estejam fora das especificações, mas sua dispersão for relativamente pequena, este pode ser considerado potencialmente capaz, isto é, o C_p será elevado, mas em contrapartida poderá apresentar C_{pk} baixo.

Uma outra situação é quando o valor de C_p é baixo. Nesse caso a dispersão do processo não é satisfatória, e pode ser também que a sua média esteja deslocada. Ações para este caso são muitas vezes gerenciais e mais complexas, pois as causas da elevada dispersão podem, muitas vezes, ser de difícil redução, tanto financeira quanto tecnicamente.

Relação com o percentual de defeituosos produzidos

Uma grande vantagem de se utilizar o método de cálculo de C_p e C_{pk} é a possibilidade de relacionar estes índices com a taxa de defeituosos produzida. Se um processo for representado pela distribuição normal, sua média coincidir com o valor nominal especificado para o produto e o índice C_p for igual a 1, então pode-se dizer que este processo produz no máximo 0,27% de peças defeituosas, pois para esta distribuição 99,73% dos dados estão dentro dos limites que cobrem a dispersão de tamanho 6σ , como pode ser visto na figura a seguir:

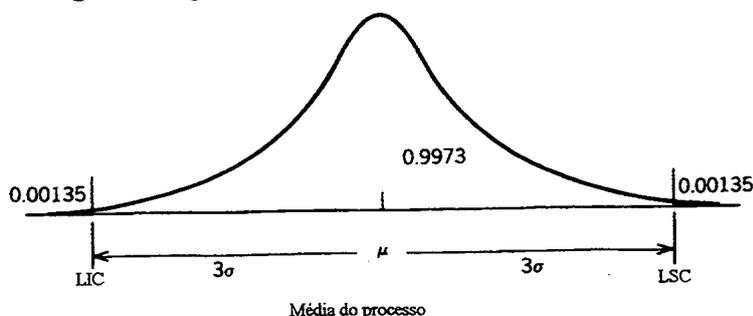


Figura 9– Distribuição normal de um processo centrado com C_p igual a 1. (MONTGOMERY, 1991, p. 366)

Sabendo-se a distribuição estatística que caracteriza o processo e o valor de C_p , é possível estimar a quantidade de peças defeituosas que o esse potencialmente pode estar produzindo.

Aplicações dos resultados da avaliação da capacidade de processos

Além de permitir a quantificação da eficácia do CEP, os resultados da avaliação da capacidade de processos são uma fonte de informações para o desenvolvimento de novos produtos e processos, assinatura de contratos comerciais e também para o estabelecimento de prioridades de melhoria. (MONTGOMERY, 1991, p. 367).

2.10 – Auto-correlação estatística

Se os dados que representam o processo forem auto-correlacionados pode ser que falsos alarmes sejam observados durante a utilização das cartas de controle. Na prática isto significa que poderão ser observados muitos sinais de causas especiais, mas na realidade estes sinais serão naturais ao processo. Nestes casos, as cartas de controle convencionais (cartas de Shewhart) não são as ferramentas adequadas para o controle do processo. Será necessário primeiro tratar os dados para depois controlá-los estatisticamente. Logo, se as cartas de controle convencionais forem utilizadas sem que se conheça a presença ou não de correlação, muito esforço pode ser despendido inutilmente.

Portanto, as cartas convencionais são essencialmente aplicáveis a processos cujas observações sejam independentes e normalmente distribuídas. Exemplos de processos em que as cartas convencionais não podem ser diretamente aplicadas incluem muitos processos químicos, em que observações consecutivas indicam freqüentemente a existência de auto-

correlação. Para processos que apresentam auto-correlação outras técnicas estatísticas devem ser utilizadas, destacando-se os modelos ARIMA. Mais detalhes sobre a questão da correlação são abordados por Montgomery (1991, p. 341 - 350).

Nesse capítulo 2 foram abordados apenas os conceitos fundamentais do controle do processo. Logo, delineado os principais conceitos acerca do controle estatístico de processos, serão apresentadas no próximo capítulo algumas metodologias de implementação desta ferramenta.

CAPÍTULO 3 - ABORDAGENS DE IMPLANTAÇÃO

No capítulo anterior foram apresentados os principais conceitos sobre o controle estatístico de processos. Neste será apresentado um resumo das abordagens teóricas de implantação do CEP propostos por alguns autores, e também uma abordagem utilizada em uma indústria automobilística.

Apenas para facilitar a leitura, o presente capítulo foi organizado da seguinte forma: cada abordagem é dividida em etapas, e cada etapa dividida em quatro partes:

1. Título da etapa:

2. Descrição: é o resumo do procedimento da etapa.

3. Responsável: descreve quem é o responsável pela execução da etapa. Neste item quando se escreve “Engenharia” entende-se o órgão na empresa responsável pelo desenvolvimento de produtos e processos. Quando se escreve “Manufatura” entende-se o órgão responsável pela produção de produtos. Quando se escreve “time” entende-se uma equipe multifuncional constituída de representantes da Engenharia, Manufatura e Garantia da Qualidade. Quando se lê “Gerente” entende-se a pessoa na empresa responsável pelo gerenciamento de recursos e que possui poder de decisão na organização.

4. Ferramentas: descreve as principais técnicas estatísticas e/ou outros meios utilizados para execução da etapa.

No final de cada abordagem são tecidos comentários acerca do modelo. A inclusão desse texto no trabalho foi fundamental para elaboração dos capítulos subsequentes, que tratarão das causas de insucesso do CEP e do modelo proposto de implantação.

3.1 - Abordagens da literatura

3.1.1 - Abordagem Motorola

Breyfogle III (1992, p. 332-348) descreve o Guia Motorola do Programa *Six-Sigmas* que contempla, entre outros aspectos, a implantação do CEP. Esse programa é dividido em 10 passos, sendo um guia para obtenção da qualidade seis sigmas¹³, termo este

¹³ O termo seis sigmas deriva da análise da distribuição de um processo cuja dispersão de tamanho de 12 sigmas é da ordem do campo de tolerância da especificação. Um processo com essa característica possui um Cpk igual a 2 ou 0,002 partes por milhão. (BREYFOGLE III, 1992, p. 332-348).

famoso devido a obtenção pela Motorola em 1988 do prêmio norte-americano de qualidade Malcolm Baldrige. As principais etapas são:

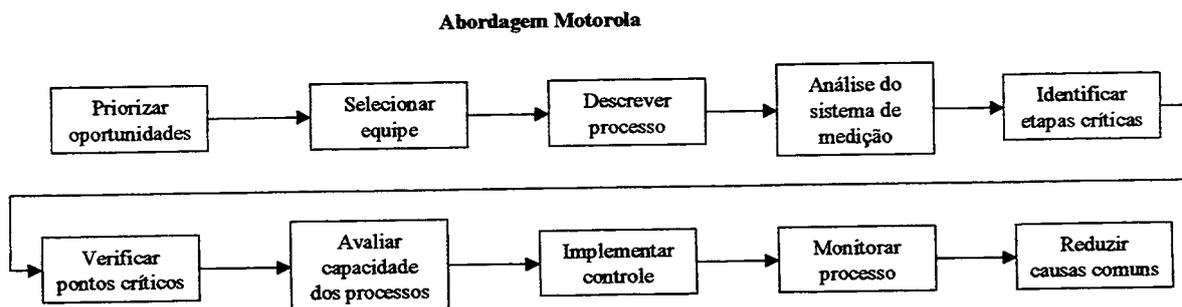


Figura 10 – Etapas da abordagem Motorola

Etapa 1 - Priorizar oportunidades de melhoria

Responsável: Gerente

Descrição: Quantifique e conheça as oportunidades de melhoria. Especifique os problemas em termos de quantidade e local de ocorrência, modo de falha, indicando o impacto no cliente, confiabilidade e campo. Quantifique a redução de custo potencial.

Ferramentas: Análise de Pareto, Relatório de Confiabilidade, Relatório de falhas da qualidade, Custos da qualidade

Etapa 2 - Selecionar o time de trabalho

Responsável: Gerente

Descrição: Selecione um pequeno grupo de pessoas que tem conhecimento do produto e do processo, experiência, disciplina técnica, autoridade, tempo e habilidade de estudar/detalhar a área (processo) a ser estudada. Estabeleça e identifique a função do time e de cada membro. Identifique o “*Champion*” que acompanhará o time e certificará que as atividades estão sendo realizadas. O time deve definir o quê e quanto deve ser executado.

Ferramentas: Seleção de “*Champions*”, líderes e membros (assegurar membros interfuncionais). Identificação do correto número de participantes.

Etapa 3: Descrever o processo total (todas as etapas do processo que englobam a oportunidade de melhoria)

Responsável: Time

Descrição: Utilize um diagrama de fluxo (diagrama de processo) para ilustrar as possíveis fontes de variações do processo. Inclua todos os equipamentos, pessoas, métodos, ferramentas, partes de máquina e instrumentos na descrição do processo. Identifique todas as relações (variáveis) conhecidas de entrada / saída de cada etapa do processo. Descreva os procedimentos e fluxos de trabalho alternativos.

Ferramentas: Diagrama de fluxo, Análise de Pareto, Dados Históricos, Definição de processo, Cartas de tendência

Etapa 4: Analise a performance do(s) sistema(s) de medição**Responsável:** Engenharia**Descrição:** Determine a precisão, acuracidade, repetibilidade e reprodutibilidade de cada instrumento ou meio de controle utilizado para garantir a capacidade dos processos. Assegure que a sua resolução é no mínimo 10 vezes menor que a especificação. Esta etapa tem por objetivo a certificação de que a fonte de dados é confiável.**Ferramentas:** Calibração, Estudo do erro do sistema de medição.**Etapa 5 - Identifique e descreva as etapas críticas do processo /produtos críticos****Responsável:** Time**Descrição:** Liste e descreva todos os processos críticos obtidos através de *braisntorming*, dados históricos, relatórios de campo, relatórios de falha, relatórios de falha nos processos e modele os problemas potenciais utilizando ilustrações gráficas.**Ferramentas:** Carta para multi-variável, Diagrama de dispersão, Relatórios de análise de falhas, Cartas de tendência, Cartas de controle.**Etapa 6 - Isolar e verificar os processos críticos****Responsável:** Time**Descrição:** Restrinja a lista potencial de problemas para os poucos vitais. Identifique as relações de entrada / saída que afetam os problemas específicos. Verifique as potenciais causas de variabilidade do processo e problemas do produto através de experimentos de engenharia, diagramas de dispersão e cartas para multi-variáveis. Assegure que os dados sejam claros e estratificados.**Ferramentas:** Experimentos fatoriais, Gráficos, Análises, *Brainstorming*, Método superfície de resposta, Cartas de tendência**Etapa 7 - Estudar a capacidade dos processos****Responsável:** Engenharia**Descrição:** Identifique e defina as limitações do processo. Assegure que os processos são capazes de atingir seus máximos potenciais em termos de capacidade. Identifique e remova todas as variações devidas às causas especiais. Determine quais são as especificações realistas para o processo.

A análise deve indicar se o processo é ou não capaz quando está em estado de controle estatístico. Para tanto os índices devem ser no mínimo $C_p \geq C_{pk} \geq 1,0$. Se o processo não for capaz, ações devem ser tomadas: reprojetado do equipamento / processo; reprojetado do produto; ações gerenciais. Se o processo for capaz passe para a etapa seguinte.

Ferramentas: Experimentos fatoriais, Carta para multi-variável, Cartas de controle, Teste de normalidade, Transformação de dados, Método superfície de resposta, Planos de amostragem

Etapa 8 - Implementar condições ótimas de operação e métodos de controle**Responsável:** Time.**Descrição:** Implemente ações corretivas permanentes para prevenir causas especiais de variação. Demonstre a previsibilidade do processo e estabilidade. Estabeleça o controle de processos baseado na prevenção de causas especiais utilizando técnicas estatísticas de controle.**Ferramentas:** Cartas de controle (CEP), Índices de qualidade, Relatórios repetibilidade de instrumentos de medição, Relatórios de análise de falhas.**Etapa 9 - Monitorar processo****Responsável:** Manufatura**Descrição:** Desenvolva monitoramento ao longo do tempo e evidencie melhorias. Métodos, sistemas, práticas e procedimentos devem ser modificados para prevenir causas especiais de variação. Defina e especifique as limitações do processo. Identifique outras ações requeridas pelo processo.**Ferramentas:** CEP**Etapa 10 - Reduzir causas comuns de variação****Responsável:** gerente**Descrição:** Limitações do processo devem ser reconhecidas. A abordagem de metas 6 sigmas apenas pode ser atingida através da redução de causas comuns de variação e através de projeto para a manufatura (*Design for Manufacturing - DFM*). Uma vez que as causas especiais foram eliminadas apenas permanecem as causas comuns de variação. Reduções adicionais dessas variáveis requerem que se trabalhe no sistema na forma de reprojeto de equipamentos e sistemas. Neste sentido o compromisso e direção gerenciais são necessárias.**Ferramentas:** DOE (Experimento de Engenharia), CEP

O foco desta abordagem é a melhoria de processos, através da redução de variabilidade dos mesmos. Neste contexto, o CEP é apenas uma ferramenta direcionada a obtenção dessas melhorias e integrada dentro de um sistema que apresenta outras ferramentas estatísticas e gerenciais. Essa abordagem trata o CEP de forma não isolada, isto é, existe uma seqüência lógica de passos até se chegar ao uso de cartas de controle. Basicamente as cartas somente são utilizadas nas etapas finais da metodologia, para controle e remoção de causas especiais. As outras técnicas ou ferramentas do sistema de melhorias são diversificadas: são utilizadas desde a priorização dos problemas e processos críticos, através da utilização de análise de Pareto, até a determinação de variáveis que afetam estes processos, com a utilização de métodos de planejamento de experimentos (*DOE - Design of Experiments*). Uma característica relevante dessa abordagem é ser aplicável para processos já desenvolvidos, embora possa também ser adequada para ser utilizada em outras áreas do negócio. Um exemplo de aplicação é no desenvolvimento de produtos e processos, descrito no item "Abordagem Breyfogle III". Finalmente a abordagem destaca os papéis e responsabilidades das pessoas em todo o fluxo de melhorias de processos, destacando a abordagem de times de trabalho e reforça a importância da responsabilidade gerencial em relação a remoção de causas comuns, que somente podem ser reduzidas através de mudanças no sistema (projeto do produto e projeto do processo).

3.1.2 Abordagem Breyfogle III

Breyfogle adaptou a abordagem Motorola descrita no item anterior, orientada para processos de manufatura, para uma abordagem orientada para o desenvolvimento de produtos e processos. Esta abordagem identifica o CEP inicialmente como um meio de avaliação de implementação e de melhoria de processos, sendo posteriormente utilizada pela manufatura como um sistema de melhoria contínua. As etapas descritas a seguir também foram adaptadas do livro escrito por Breyfogle (1992, p. 338-343), citado no item “Abordagem Motorola”. A figura a seguir destaca as principais etapas:

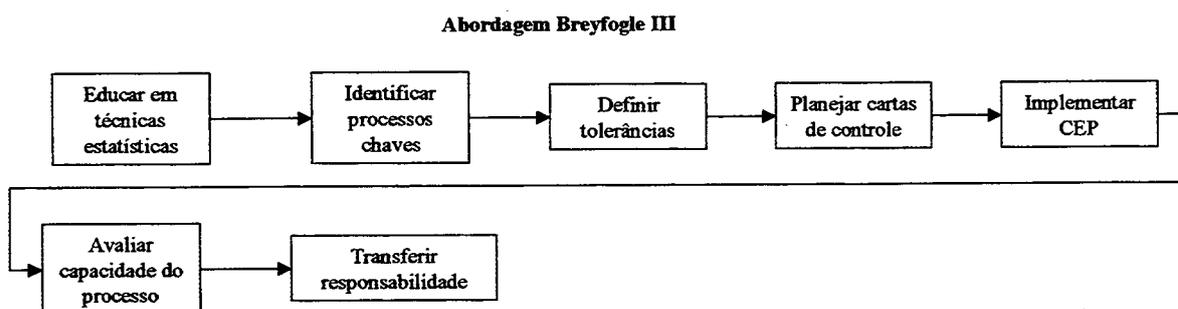


Figura 11 – Etapas da abordagem Breyfogle III

Etapa 1: Forneça educação em metodologias estatísticas

Descrição: o autor defende que um treinamento em métodos estatísticos é fundamental para a solução de problemas e também para que se possam entregar produtos para os clientes a preços mais competitivos.

Responsável: Engenharia

Ferramentas: controle estatístico de processos, experimentos fatoriais fracionados e desdobramento da função qualidade.

Etapa 2: Identifique e otimize processos chaves e parâmetros do produto

Descrição: Defina todos os processos e elabore os fluxos de processos que descrevem as etapas dos mesmos. Esses fluxos devem demonstrar todo o conhecimento agregado ao processo, e que a princípio não é suficientemente aparente. Ferramentas tais como *Braisntorming* e Análise de Pareto podem ajudar a identificar os pontos problemáticos dos processos e onde os mesmos podem ser melhorados. É importante estabelecer as variáveis dos processos que afetam a qualidade do produto ainda na fase de desenvolvimento.

Responsável: Engenharia

Ferramentas: *braisntorming*, análise de Pareto, experimentos fatoriais fracionados, experimentos superfície de resposta.

Etapa 3: Definir tolerâncias dos parâmetros chaves

Descrição: inicialmente é necessário conhecer quais são os requisitos para satisfação dos clientes através da aplicação da ferramenta “Desdobramento da Função Qualidade”. Após isso devem ser definidas as especificações dos parâmetros chaves que afetam estes requisitos (a qualidade do produto).

Responsável: Engenharia

Ferramentas: Desdobramento da função qualidade, técnicas estatísticas de determinação de tolerâncias, experimentos fatoriais fracionados.

Etapa 4: Planejar a construção de cartas de controle, estabelecer limites de controle e planejar a avaliação dos índices de capacidade dos processos.

Descrição: Estas ferramentas ajudam a avaliar o comportamento dos parâmetros dos processos e suas especificações ainda na fase de desenvolvimento do produto e do processo.

Responsável: Engenharia

Ferramentas: Coleta de dados, cartas de controle, avaliação da capacidade de processos

Etapa 5: Implementar controle estatístico de processos e um sistema gerencial que garanta a melhoria.

Descrição: o CEP nesta etapa é uma ferramenta que ajuda a monitorar os parâmetros chaves ao longo do tempo. Isto é importante porque na implementação de processos existem tanto causas especiais quanto causas comuns em grande número. O objetivo maior é estabilizar os processos e, um sistema gerencial de ações corretivas estimula a melhoria do processos ainda durante a sua implementação.

Responsável: Engenharia

Ferramentas: CEP

Etapa 6: Avaliar a capacidade de processos

Descrição: esta atividade deve ser realizada para os processos chaves que se encontram estáveis ao longo do tempo. O resultado dessa atividade pode ser uma lista de atividades para tornar estes processos mais robustos, de forma que possam atender as especificações planejadas. Algumas vezes será necessário mudar o projeto (do produto) e/ou processo para que a variabilidade seja reduzida. Parâmetros adicionais podem ser identificados após a execução destas atividades.

Responsável: Engenharia

Ferramentas: Avaliação da capacidade de processos

Etapa 7: Transferir a responsabilidade pela melhoria contínua para a manufatura.

Descrição: Os processos devem ser transferidos para a manufatura e esta deve assumir a responsabilidade em aplicar o CEP nos parâmetros chaves de forma a garantir a melhoria contínua.

Responsável: Manufatura.

Ferramentas: CEP

Assim como na abordagem Motorola, esta considera o CEP como uma ferramenta dentro de um sistema maior de melhoria de produtos e processos. Um aspecto relevante é a responsabilidade atribuída à Engenharia, responsável em implantar os processos, pela

implantação do CEP. Neste sentido, o CEP serve como uma ferramenta para avaliação e validação dos processos a serem implementados. A transferência de responsabilidade do gerenciamento dos processos para a manufatura somente acontece após estes serem capazes de atender as especificações planejadas. A partir daí o CEP pode ser utilizado como meio de obtenção de melhorias contínuas nos processos.

3.1.3 – Abordagem Montgomery

Montgomery (1991, p. 248-256) descreve em seu livro *“Introduction to Statistical Quality Control”* uma seqüência de 4 etapas para implementação do CEP que o mesmo denomina de “Guia para implementação de cartas de controle”. Brevemente, as etapas descritas por Montgomery são:

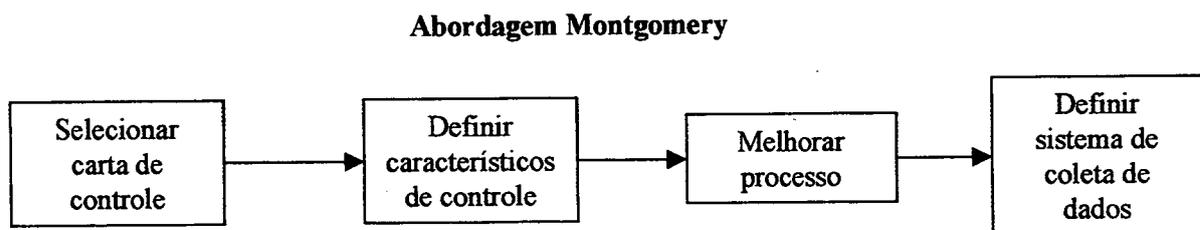


Figura 12 – Etapas da abordagem Montgomery

Etapa 1: escolha a carta de controle apropriada

Descrição: Uma série de diretrizes são estabelecidas para seleção das cartas de controle. Montgomery divide-as em 3 grupos: carta \bar{X} -R (ou carta \bar{X} -S), cartas por atributos (p,c,u) e cartas para individuais (X-Am). Por exemplo, para seleção das cartas para individuais Montgomery sugere que sejam seguidas as seguintes diretrizes:

- É inconveniente ou impossível obter mais que uma medição por amostra, ou repetir medições que diferem apenas por erro de análise. Exemplos frequentemente ocorrem em processos químicos;
- Teste automatizado ou inspeção mede todas as unidades produzidas. Nestes casos é também importante considerar as cartas *Cusum* e *EWMA*;
- Os dados demoram muito tempo para serem disponibilizados e, esperar por mais medições para se obter uma amostra de maior tamanho pode ser inapropriado, pois as ações corretivas pode não serem executadas no tempo adequado.

Responsável: não define

Ferramentas: conjunto de diretrizes para seleção das cartas de controle.

Etapa 2: Determinar quais características devem ser controlados e onde as cartas de controle devem ser implantadas.

Descrição: mais uma vez Montgomery define algumas diretrizes para seleção dos características de controle e dos pontos no processo em que as cartas devam ser implementadas. De forma breve as diretrizes estabelecidas são:

- No início de um programa de CEP as cartas devem ser implementadas para produtos ou processos considerados importantes. As cartas fornecerão um *feedback* se os mesmos necessitam ou não de cartas de controle.
- As cartas de controle consideradas desnecessárias devem ser removidas. Novas cartas de controle podem ser exigidas pelos engenheiros e operadores e devem ser implementadas. No início do programa é comum se ter uma quantidade maior de cartas de controle. Após o processo estar estabilizado o número tende a diminuir.
- Se as cartas de controle são utilizadas efetivamente e novos conhecimentos sobre as características do processo tornam-se necessárias, é de se esperar que o número de cartas por variáveis aumente enquanto o número de cartas por atributos diminui.
- No início do programa de CEP é normal que o número de cartas por atributos seja maior e estas sejam principalmente aplicadas nos controles e inspeções finais do produto. A medida que o tempo passa é de se esperar que as cartas por atributos sejam substituídas por cartas por variáveis e que sejam aplicadas em outros pontos anteriores do processo.
- Cartas de controle são um procedimento de controle do processo *on-line*. Elas deveriam ser implementadas o mais próximo possível dos operadores, para que esses possam executar o *feedback* o mais rápido possível sobre o processo.

Responsável: não define

Ferramentas: conjunto de diretrizes para seleção dos característicos de controle e pontos do processo em que as cartas devam ser implementadas.

Etapa 3: Executar ações para promover a melhoria dos processos

Descrição: As cartas de controle devem fornecer informações sobre dois aspectos: estado de controle estatístico do processo e sua capacidade. A relação entre esses dois fatores direcionam as ações a serem executadas para promover a melhoria dos processos. Sempre as cartas de controle serão recomendadas para identificação de causas especiais (para os casos em que o processo está fora do estado de controle estatístico) ou para fornecer uma visão da variabilidade do processo (para os casos em que o processo se encontra sob estado de controle estatístico). Como será visto no quadro abaixo, se processo não for capaz é recomendável que se realizem experimentos planejados estatisticamente (DOE) para se verificar quais são as fontes de variação que fazem com que o processo não atenda às especificações:

		O processo é capaz?	
		Sim	Não
O processo está sob controle ?	Sim	CEP	CEP DOE Análise de especificações
	Não	CEP	CEP DOE Análise de especificações

Responsável: não define

Ferramentas: CEP, DOE e análise de especificações.

Etapa 4: Selecionar sistemas de coleta de dados e *softwares* computacionais.

Descrição: Novamente Montgomery define as diretrizes para seleção de equipamentos e *softwares* que possam ajudar na prática do controle estatístico de processos. Adicionalmente Montgomery disponibiliza uma lista de *softwares* estatísticos que podem ser oportunos na utilização das cartas de controle.

Responsável: não define

Ferramentas: Diretrizes para seleção de equipamentos de coleta de dados e de *softwares* estatísticos.

A abordagem Montgomery não integra o CEP com outras ferramentas da qualidade dentro de um sistema gerencial mais amplo, caracterizando desta forma o controle estatístico de processos como uma ferramenta isolada. Em nenhum momento Montgomery sugere ou indica, em seu guia, responsabilidades para execução das diversas etapas. Não cita também questões relativas a treinamento, envolvimento das pessoas e demais aspectos relacionados a operacionalização das etapas. Em contrapartida, Montgomery define um roteiro prático e abrangente das possibilidades para se selecionar os modelos de cartas de controle, os característicos de controle e os pontos em que as cartas devam ser implementadas. Por último, Montgomery defende enfaticamente a utilização de *softwares* computacionais e equipamentos de coleta de dados. Cabe aqui discordar da sugestão de Montgomery, pois parece ser mais conveniente que se priorize o domínio do método. É mais importante inicialmente se descobrir os “caminhos” que conduzem a redução da variabilidade. A informatização é apenas um meio para facilitar a prática do CEP. A mesma deve ser implementada no tempo adequado após o levantamento das reais necessidades de informatização. Neste sentido, não parece adequado atribuir uma ênfase tão intensa à seleção de *softwares* estatísticos.

3.1.4 – Abordagem Owen

Mal Owen em seu livro “*SPC and continuous improvement*” (1989, p. 315-328) destaca as 16 etapas importantes para implementação de um programa de CEP. Inicialmente Owen defende que o CEP somente tem chances de ser implementado adequadamente em um ambiente onde as barreiras e os paradigmas sejam facilmente quebrados, onde haja compromisso gerencial efetivo, onde os operadores sejam efetivamente envolvidos, a importância dos clientes reconhecida e outros aspectos fundamentais a implantação de uma metodologia de trabalho sejam também relevados. De forma geral, as etapas propostas por Owen são:

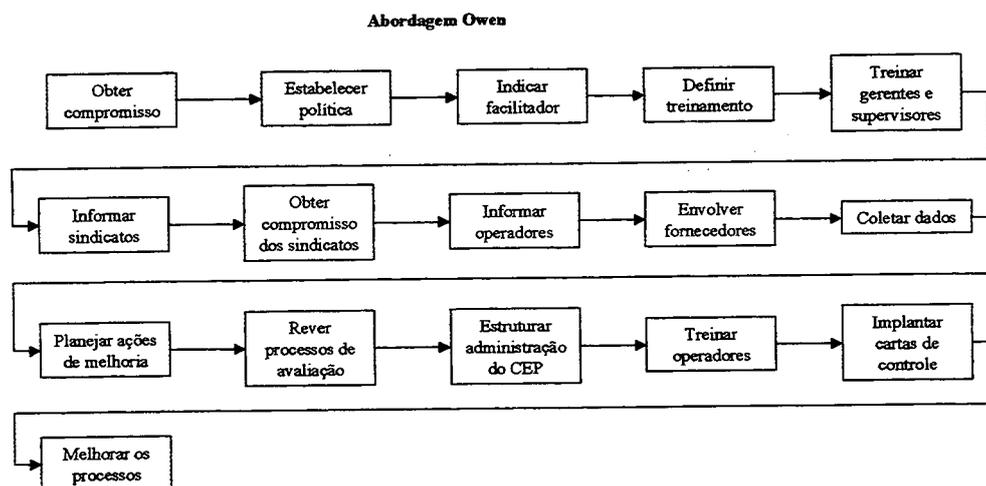


Figura 13 – Etapas da abordagem Owen

Etapa 1: Obter compromisso

Descrição: inicialmente é necessário obter o compromisso efetivo da alta administração, pois neste aspecto o CEP não difere dos demais programas de melhoria da qualidade. Owen sugere algumas diretrizes para que esse compromisso seja realmente obtido. Após a obtenção do compromisso um plano geral de implementação pode ser elaborado.

Responsável: não define

Ferramentas: apresentação de consultores externos e seminários gerenciais.

Etapa 2: Formular uma política (diretriz)

Descrição: é necessário formar um comitê de gerentes responsável pelo programa e indicar também um facilitador (ver etapa 3). Esse comitê em conjunto com o facilitador deve estabelecer um plano geral que contemple as principais diretrizes do programa de CEP. Esse plano deve conter: os objetivos gerais, as responsabilidades gerenciais, a estratégia de treinamento, os recursos necessários para execução do programa, as necessidades financeiras e um cronograma.

Responsável: comitê

Ferramentas: não define.

Etapa 3: Indicar um facilitador

Descrição: a principal função do facilitador é estabelecer, desenvolver e monitorar o programa de CEP. Dependendo do tamanho da organização talvez seja necessário indicar mais do que um facilitador. Owen destaca também as principais funções e/ou responsabilidade do facilitador. Uma das principais é de ser o treinador, de fornecer suporte às áreas que se propõem a implantar o CEP. O mesmo atribui ao facilitador uma enorme responsabilidade sobre o programa, pois chega a admitir que sem um facilitador um programa de CEP não terá sucesso. Owen também destaca as principais características ou habilidades que essa pessoa deve ter: boa comunicação, interesse em análises estatísticas práticas, adequado relacionamento com o chão-de-fábrica, ter a confiança de todos os níveis da organização e ser um entusiasta do CEP.

Responsável: não define

Ferramentas: não define.

Etapa 4: Definir uma estratégia de treinamento

Descrição: uma estratégia especial de treinamento necessita ser definida. Essa estratégia deve levar em consideração alguns fatores tais como: Quantas pessoas necessitam ser treinadas? Quais os tipos diferentes de cursos que necessitam ser desenvolvidos? Quem fará o treinamento? Quantas as pessoas serão treinadas? Os treinamentos serão feitos fora ou dentro da empresa?

Responsável: não define.

Ferramentas: não define.

Etapa 5: Treinar gerentes e supervisores

Descrição: após definida a estratégia de treinamento é importante realizá-los inicialmente com os gerentes e, em seguida com os supervisores. É importante que o treinamento seja complementado com uma atividade prática. Assim, ao final do treinamento formal cada pessoa recebe a tarefa de selecionar um processo crítico e definir para o mesmo o tipo de carta de controle a ser utilizado, coletar dados, calcular limites de controle. Neste sentido o facilitador tem um papel fundamental, pois o mesmo deve prestar suporte técnico às áreas interessadas.

Responsável: não define

Ferramentas: apresentação de consultores externos e seminários gerenciais.

Etapa 6: Informar aos sindicatos

Descrição: Para os casos em que for necessário o envolvimento do sindicato é importante conscientizá-lo da importância do CEP.

Responsável: não define

Ferramentas: apresentação de consultores externos e seminários gerenciais.

Etapa 7: Obter compromisso dos sindicatos

Descrição: Após a conscientização é importante a obtenção do comprometimento do sindicato.

Responsável: não define

Ferramentas: não define.

Etapa 8: Informar os operadores

Descrição: o próximo passo é declarar aos operadores que o CEP será implantado. Neste contexto, é importante ressaltar que dependendo do tamanho da organização técnicas especiais de comunicação devem ser utilizadas. Se a empresa for pequena talvez uma declaração direta do Gerente Geral ou Diretor já seja suficiente. É importante destacar a importância do CEP, os motivos que levaram à sua implantação e o que mudará nas "vidas" das pessoas. É importante lembrar que esta atividade de comunicação ainda não envolve treinamento.

Responsável: diretor, gerente geral

Ferramentas: técnicas de apresentação, vídeos.

Etapa 9: Envolver fornecedores

Descrição: muito provavelmente as melhorias a serem obtidas com a implantação do CEP dependa da participação dos fornecedores. A melhoria dos processos pode, algumas vezes, depender diretamente da melhoria da qualidade da matéria-prima. Assim é importante envolver desde o início os fornecedores-chave na implantação do CEP. A implantação do CEP em uma empresa cliente pode acarretar na implantação na base fornecedora também. Essa prática tem sido observada freqüentemente nas indústrias automobilísticas.

Responsável: não define

Ferramentas: seminários gerenciais, treinamento, etc.

Etapa 10: Coletar dados

Descrição: o CEP requer dados corretos, coletados no tempo certo, no local certo e pela pessoa certa. Neste aspecto, é importante preparar o ambiente para a adequada coleta de dados. Além disso, os dados coletados e devidamente estratificados permitirão aos gerentes definir as prioridades em termos de áreas pilotos para implantação.

Responsável: gerentes

Ferramentas: Gráfico de Pareto.

Etapa 11: Planejar um plano de ação para os sinais de falta de controle

Descrição: É importante delinear uma estratégia para tratar as causas especiais quando elas ocorrerem. Em termos de responsabilidades, inicialmente, é importante utilizar a experiência e habilidade dos operadores para promover a investigação, bem como a execução de ações para eliminar as causas especiais que por ventura apareçam. É também prudente esperar que nem todas as causas que surgirem serão prontamente identificadas e eliminadas pelos operadores da linha de frente. Nestes casos, é importante formar uma força tarefa (grupo de trabalho) para auxiliar os operadores. Muitas vezes esses grupos serão interdepartamentais. Adicionalmente à definição de responsabilidades é também fundamental estabelecer algumas diretrizes. Uma das mais importantes é estabelecer que a produção será paralisada sempre que houver a evidência da presença de uma ou mais causas especiais. Outras diretrizes importantes também devem ser estabelecidas.

Responsável: não define.

Ferramentas: não define.

Etapa 12: rever os processos de avaliação da qualidade

Descrição: é importante eliminar os métodos tradicionais de avaliação da qualidade. Neste sentido, instrumentos de medição por atributos devem ser paulatinamente substituídos por instrumentos por variáveis. Essa última categoria de instrumentos fornecem muito mais informações sobre o processo dos que as por atributos.

Responsável: não define.

Ferramentas: não define.

Etapa 13: Estruturar a administração do CEP

Descrição: é importante estruturar a maneira como o CEP será administrado durante e após a implantação. Procedimentos devem ser elaborados e toda a estrutura de suporte / apoio deve ser planejada. Exemplos de atividades de apoio são: preparação e atualização das cartas de controle, fornecimento de formulários, formação e acompanhamento dos grupos de trabalho (força-tarefa) e avaliação da capacidade de processos.

Responsável: não define.

Ferramentas: não define.

Etapa 14: Treinar os operadores

Descrição: uma vez estruturado a implementação do CEP o passo seguinte deve ser o treinamento daquelas pessoas que irão utilizar diretamente as cartas de controle. É importante que esse programa de treinamento contemple também um treinamento prático, no local de trabalho. É importante lembrar que os operadores devem ter um treinamento que não se reduza à sala de aula ou de treinamento, pois esses precisarão conhecer fundamentalmente como as cartas de controle funcionam na prática.

Responsável: não define

Ferramentas: vídeos, slides e outras técnicas de treinamento.

Etapa 15: implementar as cartas de controle

Descrição: o passo seguinte ao treinamento operacional é a implantação das cartas propriamente dita. Neste ponto os operadores devem ser encorajados a assumir a responsabilidade pelo controle do processo. Adicionalmente, é necessário se ter evidências de que uma forte estrutura de apoio gerencial está efetivamente disponível para auxiliar os operadores no controle do processo.

Responsável: não define

Ferramentas: cartas de controle.

Etapa 16: melhorar os processos

Descrição: o ciclo de melhoria se inicia após a introdução das cartas de controle. Este ciclo deve ser estabelecido e implementado eficazmente. As etapas básicas desse são: as cartas de controle são utilizadas, as causas especiais são detectadas e eliminadas e os limites de controle são recalculados. Esse ciclo se repete indefinidamente até que o processo atinja o estágio de desempenho considerado ideal pela empresa. É também importante estar consciente que este ciclo de melhoria pode requerer freqüentemente tempo e recursos financeiros para investimento. Mas não há outro caminho a trilhar.

Responsável: não define

Ferramentas: não define.

Assim como Montgomery, Owen considera o CEP como uma ferramenta isolada de melhoria. No conjunto sua proposta de implementação é bem detalhada. Sua metodologia engloba em sua maioria os elementos que influenciam diretamente na mudança organizacional. Neste contexto, o CEP é um programa de melhoria da qualidade que

necessita do apoio de várias partes da organização. Cabe aqui uma observação: sob ponto de vista prático as etapas propostas por Owen, por serem muito detalhadas, necessitam ser analisadas caso a caso, de acordo com o tamanho e características de cada organização.

A indicação de um ou mais facilitadores parece ser bastante conveniente, mas é importante definir até que ponto vão as responsabilidades dessa função. Se o compromisso das áreas envolvidas não for efetivo, essa função pode acabar executando atividades que vão além de suas responsabilidades.

O envolvimento de fornecedores na implementação do CEP é nos dias atuais um estágio avançado. É necessário estabelecer um ambiente de parceria fundamentada na melhoria da qualidade. A aplicação de técnicas de qualidade mais específicas de forma integrada e cooperativa tanto na empresa cliente quanto na fornecedora é um estágio bastante avançado no caminho de melhoria permanente da qualidade.

Um outro aspecto abordado por Owen é a estruturação e corrente participação da equipe de apoio. Em outras palavras ele destaca que o CEP não deve ser definitivamente delegado aos operadores até que estes tenham pleno domínio do método de controle de processo.

3.2 – Abordagem utilizada na indústria B

Conforme dito no capítulo 1 a empresa B é uma indústria automobilística com larga experiência na aplicação do CEP, totalizando aproximadamente 18 anos. O procedimento a ser apresentado está descrito em documentos do sistema da qualidade, servindo também para atender os requisitos do item 4.20 da norma NBR ISO 9001, versão 1994. As etapas da abordagem utilizada são:

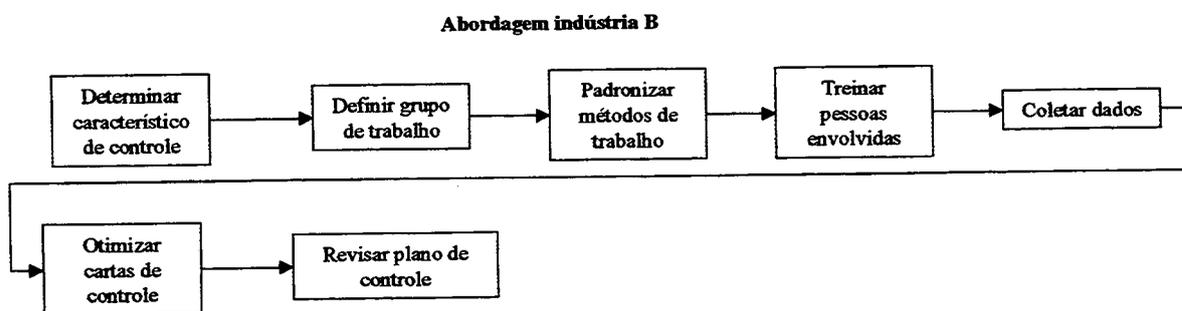


Figura 14 – Etapas da abordagem da indústria B

Etapa 1: determinar a característica de qualidade ou parâmetro do processo a ser controlado

Descrição: a análise da FMEA de processo e a análise dos característicos que impactam na segurança dos clientes definem quais são os característicos do produto ou variáveis do processo que irão ser controlados via CEP. Após esta definição, os mesmos são documentados nos planos de controle.

Responsável: grupo de trabalho: engenharia de processos e produto, garantia da qualidade e manufatura

Ferramentas: FMEA e reuniões de grupo de trabalho

Etapa 2 : definir grupo de trabalho

Descrição: é formado um grupo de trabalho para redução da variabilidade de processo. Esta equipe é composta, no mínimo, pelo encarregado da manufatura, por operadores e pelo engenheiro de processos.

Responsável: Manufatura

Ferramentas: não existem.

Etapa 3: padronizar os métodos de trabalho

Descrição: a padronização das operações de trabalho ajudam na estabilização dos processos. O objetivo é homogeneizar a influência do conjunto mão-de-obra / método de trabalho no processo.

Responsável: Manufatura

Ferramentas: padronização das tarefas operacionais.

Etapa 4: treinar as pessoas envolvidas

Descrição: treinar as pessoas em técnicas estatísticas e nos procedimentos operacionais. A complexidade do treinamento varia em função dos níveis hierárquicos.

Responsável: Manufatura

Ferramentas: não existem.

Etapa 5: coletar dados

Descrição:

Subetapa 5.1: busca e manutenção da estabilidade: nesta fase cartas de controle são implantadas nos característicos e/ou parâmetros selecionados. Vinte e cinco dados são coletados e é realizada análise da estabilidade dos processos, isto é, é realizada a avaliação do comportamento estatístico do processo, procurando identificar a presença de causas especiais. Para tanto é utilizado um padrão de trajetórias não aleatórias (seqüência crescente ou decrescente de pontos, pontos fora dos limites de controle, etc). Causas especiais identificadas devem ser removidas pelo grupo de trabalho até que o processo se demonstre estável. Se necessário novos dados são coletados e o fluxo é reiniciado. Este ciclo é realizado até que o processo se demonstre estável.

Subetapa 5.2: Avaliação e melhoria da capacidade: inicialmente é analisada a normalidade da distribuição do processo, verificando se esta é característica do processo ou ainda decorrente de causas especiais. Se o processo não for normal a avaliação da capacidade do processo é realizada pelo Método de Pearson¹⁴. Se for normal, pelo Método tradicional de

¹⁴ A distribuição do processo é ajustada a uma curva de Pearson.

C_p/C_{pk} . O período mínimo de coleta de dados para avaliação da capacidade é de 30 dias úteis de produção. Para essa coleta são utilizadas cartas X, R ou $X, R_{móvel}$. O processo é considerado capaz se o C_{pk} for maior ou igual a 1,33. Se o processo não for capaz ações são desencadeadas para redução da variabilidade.

Responsável: Grupo de trabalho e garantia da Qualidade

Ferramentas: Cartas de controle

Etapa 6: revisar estudo para otimização das cartas de controle

Descrição: nesta fase as cartas de controle são reavaliadas para se determinar o melhor recurso estatístico para cada característica do produto ou variável do processo. As cartas X, R utilizadas durante a etapa 5 podem não ser as mais adequadas. Um padrão próprio da empresa é utilizado.

Responsável: Grupo de Trabalho e garantia da qualidade

Ferramentas: Padrão próprio da empresa

Etapa 7: Revisar plano de controle

Descrição: após realizadas as etapas 5 e 6 o plano de controle é atualizado para que o CEP possa ser aplicado durante a rotina do processo.

Responsável: grupo de trabalho

Ferramentas: Padronização dos procedimentos operacionais

As abordagens Montgomery e Owen restringem o CEP a uma ferramenta isolada. Em contrapartida, a abordagem utilizada por essa indústria integra o CEP a outras ferramentas da Gestão da Qualidade. Os característicos são selecionados via execução do FMEA de processo. A padronização das tarefas operacionais é uma importante atividade para a estabilização dos processos.

A seqüência metodológica engloba os passos de avaliação da estabilidade e avaliação da capacidade do processo, nesta ordem. Em outras palavras, a metodologia preconiza que o CEP somente deve ser implantado em processos que sejam estáveis e capazes.

Um outro aspecto relevante é o tratamento realizado com os processos cujas distribuições não sejam normais durante a avaliação da capacidade de processos. Um outro ponto importante, não descrito na abordagem mas observado durante as visitas à Fábrica, é a padronização das prováveis causas especiais e respectivas ações corretivas relacionadas a cada característico de qualidade.

Os procedimentos de apoio também não apresentados na abordagem englobam os padrões de avaliação da estabilidade do processo. Esses padrões são representações gráficas para identificação de trajetórias de pontos não-aleatórias que possibilite a detecção de causas especiais. Um trabalho importante realizado por essa indústria foi a adaptação desses padrões à realidade de cada processo.

Observações finais

Todas as abordagens apresentadas e estudadas não levam em consideração a problemática da auto-correlação dos dados. Indiscriminadamente as cartas de controle, segundo as abordagens, podem ser aplicadas sem que seja realizada a avaliação da hipótese de normalidade e independência dos dados que representam o processo.

Apenas uma abordagem teórica, a de Owen, ressalta os aspectos organizacionais envolvidos durante a aplicação do CEP. Neste contexto, Owen enfatiza largamente a necessidade de treinamento das áreas envolvidas, do comprometimento dos líderes, do envolvimento dos operadores e tantos outros aspectos relacionados à mudança organizacional imposta pela implantação do CEP. Esse aspecto relevado por Owen é fundamentalmente um dos pilares para a efetiva implantação do CEP.

Algumas abordagens consideram o CEP como uma ferramenta integrada de um sistema maior de gestão da qualidade. Neste sentido, parece residir também neste aspecto um dos pontos fundamentais à implantação do CEP. Em outras palavras, o CEP necessita da utilização de outras ferramentas da gestão da qualidade para que possa ser utilizada efetivamente. Um exemplo é a seleção de características de qualidade através da utilização de ferramentas tais como o *FMEA (Failure Mode and Effects Analysis – Análise do modo e efeito da falha)* e *QFD (Quality Function Deployment – Desdobramento da função qualidade)*. Um outro exemplo é durante a estruturação dos sistemas de ações corretivas em que ferramentas de análise e investigação de problemas podem ser utilizadas.

As outras empresas visitadas também têm abordagens específicas para aplicação do CEP. De forma geral, consideram o CEP como uma ferramenta isolada dentro dos sistemas de gestão da qualidade. As abordagens utilizadas pelas mesmas não foram descritas nesse trabalho devido à duas razões: não foi observado notadamente nenhum aspecto diferencial em relação a metodologia utilizada pela empresa B e os resultados obtidos com a implantação do CEP ainda não são consistentes.

De forma geral, não existe um padrão consistente de implantação do CEP. As abordagens se consideradas isoladamente trazem muitos pontos fortes e itens que precisam ser melhorados ou acrescentados para que efetivamente o CEP possa ser aplicado. Neste contexto, a elaboração desse capítulo contribuiu de forma significativa para a estruturação do capítulo 5, que tratará da proposta de metodologia de implantação e gerenciamento do CEP.

O próximo capítulo contemplará a descrição dos fatores que contribuem para que o CEP não acarrete a efetiva redução da variabilidade do processo. O capítulo 4 também é de importante valia para a elaboração do capítulo 5.

CAPÍTULO 4 - POR QUE O CEP FALHA?

O potencial do CEP está em detectar possíveis variações que possam ocorrer em um processo antes que estas acarretem mudanças significativas nos mesmos. Assim ações corretivas podem ser executadas a contento no tempo correto, evitando que produtos defeituosos sejam produzidos. Para isso o recurso estatístico utilizado no CEP fornece uma fotografia do processo, que deve ser utilizada para prever o futuro do processo, através da análise de tendência.

Então o quê significa dizer que o CEP falhou? Significa utilizar os seus resultados apenas como histórico. Isto na prática é o que se vê em muitas organizações, representando um desperdício do potencial desta ferramenta. A redução da variabilidade, que é o objetivo fundamental do CEP, não pode ser obtida sem que o controle preventivo seja praticado. Muitos autores têm alertado para esta questão. Breyfogle III (1992) relata que :

“... Infelizmente, em muitas organizações, os dados plotados em uma carta de controle são utilizados apenas para informação...”

Este fato também é constatado por Paladini (1995,p. 194):

“...Um estudo em empresas brasileiras sediadas no sul do Brasil, sem rigor estatístico em termos de amostragem ou representatividade, forneceu uma idéia de algumas razões para esta frustração. A principal delas é a tendência de utilizar o CEP como um demonstrativo do histórico do processo e não como um processo de análise de tendências.”

Os autores ressaltam que na prática o CEP em muitas empresas é constituído por um amontoado de cartas de controle que servem apenas para enfeitar as “paredes” das máquinas. Essas situações representam casos de insucesso de um programa de CEP. E esses insucessos são decorrentes de diversos erros no planejamento, na implantação ou na utilização dessa ferramenta. A intensidade destes erros varia de uma organização para outra e, muitos desses estão associados à cultura de cada instituição. Como a cultura organizacional também varia de uma empresa para outra, este capítulo não tem a pretensão de ser completo, isto é, não pode refletir todas as possíveis variáveis que podem levar o CEP a falhar.

A literatura sobre as variáveis que afetam a prática efetiva do CEP pode ser considerada como escassa. Poucos autores abordam esta questão, sendo que a maioria concentra-se nos aspectos estatísticos relacionados ao CEP. A metodologia utilizada para descrição deste capítulo, conforme definido no capítulo 1, constituiu-se das seguintes atividades:

- Revisão bibliográfica
- Visitas a empresas

Sob o ponto de vista didático, as variáveis que levam um programa de CEP a falhar 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.

4.1 - Erros associados ao planejamento e implantação do CEP

Erros associados ao planejamento e implantação são todos aqueles cometidos durante o estabelecimento dos objetivos, elaboração das estratégias de implementação e conseqüente execução dos planos. Não obstante existem diversas formas de se planejar a implantação do CEP. Portanto, este item 4.1 procura refletir as principais falhas que podem ser cometidas, de forma genérica, em qualquer uma das etapas: planejamento e implantação.

Os objetivos do CEP não estão claramente definidos

Não se definir claramente os objetivos do CEP pode fazer com que outros erros sejam cometidos durante o planejamento e implantação. Todo o planejamento decorre dos objetivos que são delineados inicialmente. Objetivos incorretos levam, invariavelmente, a resultados indesejáveis.

Muitas organizações, por não definir os objetivos do CEP, não têm delineado claramente os motivos que levaram a sua implantação. Um desses motivos é a pressão externa. Algumas empresas podem ter sido pressionadas pelos seus clientes. Uma das empresas visitadas, por ser uma fornecedora de peças para indústria automobilística, decidiu implantar o CEP devido à exigência de um de seus clientes. Resultado: as cartas de controle não eram utilizadas efetivamente. Eram suficientes para servirem apenas como evidências para as auditorias realizadas pelos clientes. Esta situação perdurou até que em uma das auditorias constatou-se que as cartas não passavam de um amontoado de papéis de parede. A empresa foi notificada e o CEP necessitou ser reimplantado. Portanto, o ponto mais importante que leva a decisão de se implantar o CEP é conhecer os seus porquês, os seus reais objetivos.

Não domínio dos conceitos relacionados ao CEP

Poder-se-ia dividir este tópico em tantos outros, pois este erro, muitas vezes, é a causa de outros erros significativos. Aliado a falta de objetivos definidos para o CEP, o não domínio dos conceitos associados a esta ferramenta, muitas vezes, acarreta a formação de expectativas que vão além daquelas que o CEP pode superar. E isso tem gerado uma das mais importantes causas de insucesso do CEP: a frustração com os resultados não obtidos.

Ao se consultar a literatura específica pode se notar que muitos autores consideram o CEP como um remédio para muitos males de qualidade na manufatura. E esse tem sido um dos principais motivos que tem levado às empresas a se decidirem pela implantação do CEP. No entanto, o CEP é apenas um dos métodos de gerenciamento da qualidade, e depende também de uma série de fatores tais como pessoas, cultura da organização e competência técnica, entre outros. O CEP tem, portanto, limites no

potencial de atingir resultados. E o entendimento desses limites depende do domínio que se tem dos conceitos.

Os conceitos fundamentais relacionados ao CEP devem ser entendidos por todas as pessoas da organização envolvidas com a implantação do CEP. Logicamente esse entendimento deve variar de acordo com a posição da pessoa na estrutura hierárquica. Um diretor não precisaria saber como se calcular os limites de controle de uma carta, mas precisaria saber o que necessita ser cobrado dos gerentes e engenheiros que administram a prática do CEP.

Muitos erros são decorrentes da não dominância dos conceitos. Existem muitos exemplos. Um erro típico é acreditar que será possível, para todo e qualquer tipo de processo, controlar apenas as variáveis de processo. Na prática nem sempre é possível controlar desta forma, sendo necessário controlar também características do produto. Muitas vezes apenas o controle das variáveis do processo não é suficiente porque:

- o número de variáveis do processo associado a um único característico de qualidade do produto pode ser elevado; e/ou
- não são conhecidas todas as variáveis do processo que afetam o característico do produto em questão.

Um outro erro é acreditar que as cartas de controle detectam mudanças nos processos. As cartas não fazem isso. Elas apenas sinalizam, e a capacidade de detecção está associada a sensibilidade das cartas de controle, a capacidade de interpretação das mesmas e aos erros estatísticos a elas associados.

Outro erro comum é concluir que o CEP por si só pode reduzir custos, através da melhoria de índices de qualidade, tais como reprocesso e sucata. O CEP pode vir até a reduzir custo, mas se direcionado a isto.

Dentre todos, um dos maiores erros é acreditar que todos os característicos de qualidade podem ser controlados através do CEP. Esse tópico será detalhado um pouco mais no item seguinte.

Característicos ou processos não merecedores do CEP (Excesso de cartas de controle)

Um erro muito comum é selecionar aleatoriamente, sem critérios definidos, os característicos de qualidade a serem controladas com o CEP (SHAININ, 1992,p. 256). Alguma vezes os característicos são determinados pelos clientes que conhecem muito pouco sobre o processo do fornecedor. Outras vezes o próprio fornecedor seleciona os seus característicos sem avaliar se os mesmos podem ser controlados. Isso é um erro grave e não raramente leva o CEP ao descrédito rapidamente.

Pode resultar da seleção não criteriosa dos característicos de qualidade um número elevado de cartas de controle. Conseqüência mais comum: as mesmas funcionam como “papel de parede”, não sendo obtidos os resultados desejados com o CEP, pois não se tem em geral fôlego gerencial para se controlar tantos característicos. Algumas empresas têm implantado o CEP dessa forma, e ele tem fracassado. Uma das empresas visitadas, uma automobilística, do Vale do Paraíba, estado de São Paulo, com larga experiência na implantação do CEP, chegou a conclusão, após 18 anos, que poucos característicos devem e podem ser controlados via CEP. Uma outra fornecedora de

autopeças, sediada em Curitiba, atribui ao excesso de cartas de controle, um dos principais motivos de insucesso do seu programa de CEP.

A estratégia, as vezes adotada, de se implantar diversas cartas de controle e ir reduzindo este número ao longo do tempo pode também ser perigosa. Como dito anteriormente, corre-se o risco de virar “papel de parede”.

Os processos também devem ser merecedores do CEP. Isto significa dizer que é necessário que o processo permita que ações corretivas sejam executadas sobre o mesmo, caso contrário não se tem um sistema de controle preventivo. Logo, para que o CEP seja praticado é necessário que o processo permita que ajustes, regulagens, e outras ações possam ser executadas. (ver item 4.2)

Especificação inadequada para o característico de qualidade selecionado

Quantificar a variabilidade do processo não é suficiente para se checar a eficácia do CEP. É necessário além disso 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 pode também levar um programa de CEP ao descrédito justamente devido aos excessivos esforços despendidos para tornar o processo capaz e não se conseguir.

Copiar uma metodologia de implantação

Cada organização tem sua própria cultura. E cada cultura apresenta fatores que podem dificultar ou facilitar a implantação de um programa de CEP. Logo, um erro que pode levar um programa de CEP a falhar é copiar um programa de implantação de uma outra empresa sem que o mesmo seja adaptado a sua realidade. Nadler et al. (1994, p. 135) destaca que um diagnóstico da cultura da organização é fundamental antes de se imitarem programas bem sucedidos de outras organizações, pois não existem empresas iguais em termos de história, cultura e prioridades estratégicas.

Resistência à mudanças

Como o CEP preconiza mudanças nas posturas, atribuições e atitudes das pessoas é imperativo que as resistências naturais a qualquer mudança sejam adequadamente tratadas. Em uma organização que não se propõe a quebra constante de paradigmas a resistência a novas metodologias torna-se ainda maior. O reflexo mais comum desse tipo de organização é considerar o CEP como “mais uma coisa para se fazer”. Essa postura apesar de parecer um paradoxo, face às constantes mudanças que são exigidas em função das rápidas transformações que acontecem no mundo dos negócios, é bastante comum em muitas organizações.

Cultura organizacional não voltada para a qualidade

Este é um tema pouco discutido nas empresas, mas muito importante. Muitas empresas não possuem um ambiente adequado para a gestão da qualidade. Existem diversos exemplos relacionados a falta de cultura para a qualidade. O fato é que o CEP

não deve ser implantado e não sobrevive em uma organização não preparada para pensar em produzir qualidade. Resulta daí que o CEP, para este tipo de organizações, agrega mudança cultural. Mudam os comportamentos das pessoas, mudam as atribuições, responsabilidades e atitudes. E o maior erro, neste sentido, é não tratar a implantação do CEP como um processo de mudança cultural.

Tornar métodos e ferramentas simples em elementos complicados

Transformar metodologias que deveriam ser simples em complicadas ferramentas é geralmente comum nas empresas. Essa atitude é ainda mais comum quando está se iniciando um programa novo de qualidade. No entanto, algumas dificuldades surgem em função dessas “complicações”. Em algumas organizações existe uma resistência natural à aplicação de ferramentas e metodologias de gestão da qualidade. E quanto mais complicadas forem, maior tende a ser essa resistência. Logo, para a comissão de frente, isto é, para as pessoas que utilizam diretamente as cartas de controle, o CEP deveria ser uma ferramenta tal como é um martelo para um carpinteiro, e sua simplicidade também deveria ser proporcional ao referido instrumento.

Tornar os métodos e técnicas do CEP complicados, geralmente, causa reflexos nos programas de treinamento a ele associado. Logo, a linguagem utilizada nos treinamentos é um bom indicador para se avaliar o quanto estão sendo complicados as ferramentas e técnicas do CEP.

Muitas causas podem ser atribuídas a esta tendência de se complicar os métodos. Uma delas é a não dominância dos conceitos associados ao CEP. Outra é a linguagem utilizada nos livros. Pode ser observado que muitos livros e revistas especializadas sobre o assunto tratam o tema de forma complexa, quando não raramente, de forma estritamente teórica. A responsabilidade dos engenheiros e técnicos responsáveis pela implantação do CEP, neste caso, aumenta ainda mais: estes deveriam trabalhar como decodificadores e simplificadores da linguagem a ser utilizada no chão-de-fábrica.

Não comprometimento da alta e média gerência

Muitos livros sobre qualidade dizem que todo e qualquer programa de gestão da qualidade começa com o comprometimento da alta administração. Diz também que mais importante que o discurso é a prática. Geralmente, os “picos” de comprometimento e patrocínio são alcançados nos lançamentos dos programas de qualidade. Não raramente, após uma breve onda de entusiasmo, não são percebidas evidências de envolvimento efetivo da alta administração.

Mesmo que nos dias atuais a batalha mercadológica vem ensinando aos dirigentes das empresas o que deve ser feito, o patrocínio parcial tem sido notado em toda a estrutura hierárquica. Em algumas organizações, muitas vezes, a falta de apoio tem sido atribuída a média gerência. O fato é que o comprometimento dos escalões inferiores, não raramente, é uma cópia do de seus superiores. Assim, se as atitudes relacionadas a prática do CEP na média gerência não forem embutidas de elevada dose de comprometimento, a implantação do CEP terá pouca chance de dar certo, a não ser naquelas organizações que trabalham independente da média gerência, em uma espécie de equipes autogerenciáveis, em que o número de níveis hierárquicos em toda a organização é reduzido quando comparado com as estruturas tradicionais.

A resistência da média gerência, muitas vezes, advém do fato do CEP ser um instrumento revelador. Com a sua prática problemas anteriormente desconhecidos, ou escondidos, tornam-se aparentes. Se a média gerência não estiver comprometida, pode-se instalar um sistema punitivo, o qual é extremamente prejudicial a qualquer programa de qualidade: nesses casos os operadores tendem a esconder ou não demonstrar os problemas reais com medo de serem repreendidos. Existe por trás desse sistema uma cultura pouco favorável à qualidade. Como já visto anteriormente um dos pilares 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 o CEP é um processo de mudança cultural e comportamental. Ele requer paciência e perseverança. Ele requer mudança nas atitudes entre gerente/gerente, gerente/operador, operador/técnico e entre todas as funções envolvidas na implementação. No entanto, o comportamento e atitude das pessoas não mudam de uma hora para outra. Logo, enxergar que o CEP somente poderá trazer resultados consistentes de longo prazo, é importante para não atribuir precocemente ao mesmo um fracasso.

Não envolvimento dos operadores

Conforme já dito repetidamente o CEP é uma ferramenta que agrega mudança comportamental. Logo, além do envolvimento da alta administração e da gerência é necessário desde cedo que sejam envolvidos aqueles que utilizarão diretamente as cartas de controle. Bastante comum é envolver os operadores apenas no momento em que as cartas de controle serão implantadas, e abandonar os mesmos sem apoio após a declarada implantação. O comprometimento real dos operacionais é essencial para que o CEP seja efetivamente implantado. É importante lembrar que o CEP irá mudar significativamente as atribuições e modos de trabalho dos operadores. E quanto mais correto for o envolvimento desses, maiores as chances de implantação efetiva do CEP. O plano de implantação deve prever este envolvimento.

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 significa que quem mais pode contribuir diretamente para a melhoria dos processos são as pessoas que utilizam os recursos estatísticos na fábrica. 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.

Inexistência de um plano adequado de implantação

Quando os objetivos que levam a implantação do CEP não são consistentes, tais como agradar um determinado cliente em um curto espaço de tempo através da implantação de uma ou mais cartas de controle, muitas dificuldades podem surgir em decorrência de um plano de implantação destinado a atingir outros objetivos que não a redução da variabilidade. Alguns passos desse plano podem ser executados na seqüência inadequada. Por exemplo, um *software* gerenciador do CEP pode ser adquirido antes que se definam os característicos 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 típicas características:

- 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

Uma lista enorme de outras características poderia ser relatada. Na prática nenhum grande cliente ou empresa pode esperar que milagres aconteçam do dia para a noite. Logo, se cartas de controle aparecerem em um curto espaço de tempo eles poderão desconfiar que houve sabotagem (OWEN, 1989, p. 330). É melhor ter um plano que acarrete na implantação do CEP em poucos características da qualidade, mas que sejam resultados de um aprendizado coerente que resulte na redução da variabilidade, do que ver cartas de controle serem implantadas do dia para a noite sem sustentação de resultados.

Inexistência de um sistema de acompanhamento da implantação

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 o CEP necessita de um acompanhamento formal. E essa responsabilidade deve ser atribuída às pessoas que têm poder de decisão dentro da organização.

Algumas vezes os projetos de qualidade, entre os quais se inclui o CEP, são conduzidos paralelamente à rotina das pessoas da fábrica. É como se existisse um mundo real e outro formado pelas metodologias e ferramentas de melhorias de processos. Geralmente este tipo de comportamento é percebido quando as metas da fábrica passam por momentos críticos, em que os esforços devem ser direcionados e concentrados para atingi-las. Nessas ocasiões os chamados projetos de qualidade são relegados a segundo plano e tradicionais métodos de gerenciamento são então utilizados. É nesse tipo de organização que o acompanhamento dos planos de implementação e as devidas correções de “rota” não são executadas de forma consistente. Quando acontecem não passam de reuniões enfadonhas que não conduzem a resultados positivos.

Ênfase em resultados de curto prazo

Tem sido enfatizado que o CEP é um programa que traz resultados consistentes apenas a longo prazo. Logo, se a empresa tem focado apenas caminhos e alternativas que possam trazer resultados de curto prazo, o CEP tem pouca chance de ser implantado adequadamente.

Isto se explica facilmente. Políticas e diretrizes são formuladas e implementadas pela alta administração. Logo, se um programa de CEP depende do apoio consistente dos executivos da empresa, o CEP poderá ou não ser implementado em função das características das políticas de cada organização.

Ênfase demasiada em tecnologia da informação

Softwares e computadores são um meio que pode facilitar a utilização das cartas de controle e no gerenciamento do CEP como um todo. No entanto, a informatização precoce do CEP pode ser prejudicial se não se dominar de forma consistente as técnicas e

ferramentas dessa metodologia de controle de processos. Corre-se o risco de se ter um amontoado de computadores e sistemas de medição interligados sem que o controle preventivo seja efetivamente praticado, o que leva a um sentimento de frustração e de desperdício de recursos. Portanto, a informatização é importante e deve ser priorizada e implantada no momento e nos locais certos.

Ênfase no controle do produto

Problemas de qualidade em produtos apesar de indesejáveis são de esperada ocorrência. O CEP exige que as atenções estejam mais voltadas para o processo do que para o produto. Isto reflete diretamente nas posturas dos líderes das fábricas. Logo, quando da ocorrência de um elevado índice de produtos defeituosos é importante que se analise criticamente porque o sistema de controle, que envolve as cartas, as pessoas, as ações corretivas, não detectou a ocorrência do problema. Estaria inadequada a frequência de controle? Houve falha nos apontamentos dos dados? Houve falha de interpretação? Enfim, o quê falhou no sistema para que o problema não fosse evitado?

Se não se realiza uma análise crítica consistente sobre o processo e se direciona as atenções apenas para o tratamento a ser dispensado ao produto defeituoso, pode gerar uma cultura de menosprezar melhorias que podem ser agregadas ao sistema. No entanto, um sistema de controle para ser eficiente necessita que sejam implementadas permanentemente melhorias no mesmo.

Falhas na divulgação e promoção do CEP

Bastante comum são erros associados à divulgação do CEP. Não convencer e motivar as pessoas adequadamente sobre os reais benefícios do CEP é uma prática comum. O pessoal do chão-de-fábrica necessita de uma linguagem especial (o que não significa uma linguagem para analfabetos). Uma falha bastante comum é não mostrar como o CEP pode efetivamente ajudar as pessoas do chão de fábrica a trabalhar melhor. Resulta daí frases tais como “..o CEP é mais uma coisa para a gente fazer...”. Logo, divulgar os progressos atingidos com a implantação do CEP é uma forma de manter motivadas as pessoas que se esforçam por implantá-lo, e também de despertar o interesse daqueles que ainda não se sensibilizaram com o potencial da ferramenta.

Conhecimento insuficiente sobre o processo

Paladini (1995, p. 168) afirma que o objetivo central do CEP é conhecer o processo. Em contrapartida conhecer o processo é condição fundamental para que a implantação seja bem sucedida. Algumas empresas delegam a responsabilidade pela implantação a pessoas que não conhecem o processo em que o CEP será implantado. Mais crítico ainda é delegar o gerenciamento do CEP para estas pessoas. Algumas vezes essas pessoas trabalham nos órgãos 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 FCU.”

Não se está querendo fazer apologia a não participação dos profissionais das áreas da garantia da qualidade na implantação e gerenciamento do CEP. Muito pelo contrário, muitas vezes devido ao perfil e formação profissional, esses profissionais podem ser excelentes como suporte à implantação do CEP.

Uma das empresas visitadas criou um setor de CEP, com pessoas não associadas a manufatura. Essas tinham a função de treinar as pessoas da fábrica, tratar e avaliar estatisticamente as cartas de controle preenchidas pelos operadores. Eles não conheciam tecnicamente os processos de fabricação. Os relatórios eram enviados aos chefes de produção. Eram arquivados sem ser utilizados como uma rica fonte de informações para melhoria dos processos. A maior parte das cartas de controle eram apenas papéis de parede. Em um determinado período foram retiradas e as pessoas não sentiram falta.

A lógica das dificuldades que surgem com a falta de conhecimento do processo é simples: quando o operador detectar uma situação de falta de controle estatístico, e não conseguir resolver o problema, provavelmente, ele pedirá apoio um engenheiro ou técnico de sua área. Se esta pessoa não conhecer o processo, conseqüentemente, também não poderá auxiliar o operador. A partir da segunda ocorrência o operador vai desconfiar do CEP. Talvez nas próximas vezes o CEP cairá em descrédito, e não servirá como ferramenta para redução da variabilidade.

No entanto, delegar responsabilidade de implantação a pessoas que trabalham no processo pode ser também um erro. É necessário verificar se estas pessoas realmente conhecem o processo e se têm potencial para utilizar as ferramentas estatísticas apropriadas. Essa questão será mais detalhada a seguir.

Delegação de responsabilidade e autoridade sem treinamento adequado

Decorrente de uma série de fatores é a “delegação maldosa”, que significa a delegação do uso e gerenciamento do CEP sem o devido preparo prévio, sem o devido treinamento. Neste aspecto, treinamento em sala de aula nem sempre é o treinamento adequado. Um exemplo é o treinamento na utilização de cartas de controle. Como o CEP é uma ferramenta a ser aplicada no chão-de-fábrica, a melhor estratégia de treinamento é no local de trabalho, aplicando as técnicas adequadas de aprendizado relacionadas ao treinamento prático.

Muitas vezes, os engenheiros e técnicos responsáveis pela implantação nunca usaram uma carta de controle, ou se usaram foi por poucas vezes. Decorre então que se deve desconfiar de treinamentos rápidos, pois para a maioria das organizações, enquanto engenheiros e técnicos treinam os operadores, eles também estarão aprendendo, e esse aprendizado pode levar um longo tempo. A delegação de responsabilidade pelo uso e gerenciamento do CEP só deve acontecer para as pessoas devidamente capacitadas e treinadas.

Ênfase no treinamento teórico

A questão do treinamento abordada no item anterior apresenta outros aspectos importantes. O excesso de treinamento sem conseqüente aplicação prática é também prejudicial. Na prática se sabe que o efeito de um treinamento é tanto maior quanto mais se pratica o que se aprendeu. Não necessariamente este tipo de erro levará uma programa de implantação do CEP à bancarrota, mas o custo associado ao não

aproveitamento do treinamento pode ser elevado. Em uma das empresas visitadas o treinamento em CEP foi fornecido a maioria dos operadores das linhas de produção, independentemente se a pessoas iriam ou não utilizar a técnica estatística para controlar o processo.

Enfoque centralizado na ferramenta

Um erro comum é priorizar a ferramenta em detrimento aos resultados. Traduzindo: para o CEP o importante seria implantar a carta de controle ao invés de se reduzir a variabilidade. Esse tipo de erro é decorrente do desconhecimento ou estabelecimento inadequado dos reais objetivos do CEP. A questão do enfoque centralizado na ferramenta não é novidade. Já na implantação de técnicas estatísticas em empresas norte-americanas durante a Segunda Guerra Mundial algumas destas cometiam esse erro. Juran 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)

Suporte externo ao planejamento inadequado

Além do suporte de especialistas da própria empresa, muitas organizações recorrem a outras instituições para solicitar auxílio na implantação do CEP. Dentre essas destacam-se muitas instituições de consultoria. No entanto, muitas vezes, essas assessorias não têm fornecido o apoio adequado devido a uma série de fatores. Dentre esses destaca-se a falta de experiência. As empresas visitadas ressaltaram muito essa questão.

No Japão muitos consultores em “Gestão da Qualidade” são pessoas que trabalharam por muitos anos na indústria. No Brasil é possível verificar que algumas ementas de cursos de CEP restringem-se a tópicos elementares de cartas de controle e de 7 ferramentas da qualidade. Esse conhecimento pode ser considerado insuficiente para um adequado planejamento de um programa de CEP.

Inexistência de um sistema de padronização das tarefas operacionais

Parte da variabilidade total de um processo é devida a mão-de-obra. Existem processos cujos resultados são extremamente dependentes da habilidade do operador que o conduz. Logo se a variabilidade da mão-de-obra se manter instável ao longo do tempo, é possível que se terá enorme dificuldade em tornar os processos estáveis. No entanto, o melhor método para manter a variabilidade da mão-de-obra em níveis adequados é a padronização das tarefas operacionais (CAMPOS, 1994b, p. 31-41). Logo, a inexistência de um sistema que garanta a repetibilidade das tarefas operacionais é um fator dificultador a efetiva implantação do CEP.

4.2 - Erros associados ao gerenciamento

Muitas das falhas atribuídas ao planejamento e implantação do CEP podem se repetir durante o seu gerenciamento. Na prática é difícil se estabelecer um limite entre o ponto em que termina a implantação e o ponto em que inicia o gerenciamento efetivo do CEP. Logo, alguns tópicos discutidos no item 4.1 têm validade para o presente item.

Inexistência de meios e autoridade para se ajustar o processo

Conforme já apresentado, a falta de conhecimento é um dos fatores que colaboram para que o CEP não seja praticado eficazmente. No entanto, mesmo que se tenha conhecimento, muitas vezes, não se tem os meios ou autoridade suficientes para se ajustar o processo. As possíveis causas especiais que podem tirar o processo do estado de controle estatístico devem ser conhecidas e, os meios adequados para repor o processo em seu estado de controle disponibilizados aos operadores.

Quando se utiliza o termo “causas especiais conhecidas” se quer dizer que os operadores devem estar informados de alguma forma que estas podem ocorrer. A padronização dos procedimentos operacionais, que será abordada no capítulo 5, é um instrumento adequado para disponibilizar essas informações. Logicamente além das informações é necessário que se tenham os meios para se ajustar o processo. Um exemplo de instrumento de ajuste para um processo de usinagem de torneamento pode ser uma tabela de correção de velocidade e profundidade de corte.

A questão da autoridade é também bastante importante. Ela deve ser delegada para a pessoa que utiliza diretamente a carta de controle. Essa deve poder ajustar o processo com os meios adequados e no momento oportuno. Mais um vez a questão do treinamento é importante. A autoridade somente deve ser delegada após adequado treinamento, pois, a falta de um treinamento adequado pode levar ao excesso de ajuste, o qual é um fator prejudicial a manutenção do processo em seu estado de controle estatístico. No próximo item essa questão será abordada mais detalhadamente.

Excesso de super ajuste no processo

Quando não se tem domínio sobre o processo, é natural que os operadores procurem ajustar o processo aplicando o método de “tentativa-e-erro”. Não raramente esses vão realizando ajustes finos no processo mesmo que sinais de causas especiais não estejam presentes. As vezes um simples deslocamento da trajetória formada pelos pontos na carta é motivo suficiente para se realizar o ajuste. No entanto, a execução contínua desse método pode redundar em uma série de ajustes, prática essa denominada de super ajuste. Apesar da intenção ser a manutenção da estabilidade do processo, o resultado geralmente é um aumento da variabilidade do processo notada pelo alargamento dos limites de controle. De acordo com Kane (1989, p. 125), não realizar ajustes no processo é, em muitas situações, o melhor meio para se reduzir a variabilidade, mas, em contrapartida, é algo de difícil de ser aceito pelo ser humano. O excesso de ajustes pode levar as cartas de controle ao descrédito, pois a conclusão errada em que se pode chegar é que essas não funcionam. A regra geral é que ajuste somente devem ser executados em processos estáveis quando sinais da presença de causas especiais estiverem presentes.

Inexistência de um sistema de ações corretivas

O CEP não se limita ao preenchimento das cartas de controle. Ele é muito mais do que isso. O sistema de controle também envolve a análise do resultado, a detecção de causas especiais, a devida investigação e conseqüente execução de ação corretiva.

Nas empresas visitadas não foi observado nenhum sistema de ações corretivas no nível operacional que garantisse a adequada implementação e efetividade das mesmas. Não raro é encontrar cartas de controle que apresentam indícios de causas especiais sem evidências de que as ações corretivas pertinentes foram executadas, pois não haviam anotações no diário de bordo. Outras vezes as ações corretivas tinham sido tomadas, porém não eram adequadas. No entanto, a maior falha dos sistemas de ações corretivas parece ser o acompanhamento da implementação e da efetividade das mesmas.

Mas o sistema de ações corretivas não deve existir apenas no nível operacional, pois enquanto as ações desse nível são relativas a manutenção da estabilidade do processo, a redução da variabilidade propriamente dita somente pode ser obtida pela redução das causas comuns ao processo. E a redução dessas não é responsabilidade da linha de frente, mas dos engenheiros e técnicos que devem estudar profundamente as fontes de variação das causas comuns com o auxílio de ferramentas estatísticas mais elaboradas, tais como o *Design of Experiments*, a análise de regressão, entre outras. Não se observou nas empresas visitadas o estabelecimento de um sistema de ações corretivas no nível gerencial, restringindo-se o CEP a execução de ações apenas no nível operacional, caracterizando que parte do potencial da ferramenta estava sendo desperdiçado.

Confundir causas comuns com causas especiais

Avaliar a distinção entre causas comuns e causas especiais é uma tarefa que exige conhecimento e capacidade de análise sobre o processo. No entanto, confundir esses tipos de causas ocasiona frustração, leva a maior variabilidade e a custos mais elevados, exatamente o contrário do que é necessário (DEMING, 1990, p. 225).

A questão resume-se no seguinte aspecto: enquanto o nível de variabilidade de um processo é mantido por meio de ações operacionais através da identificação e conseqüente eliminação de causas especiais, o mesmo somente pode ser reduzido se parte das variações relativas às causas comuns forem eliminadas¹⁵. E a redução dessas somente pode ser realizada por meio de mudanças no sistema através da execução de ações gerenciais. Logo, se se confunde causas comuns com causas especiais, ora pode-se estar tomando ações operacionais no lugar de ações gerenciais, ora pode-se estar fazendo o contrário. Quando isso ocorre é de se esperar que melhorias no processo não sejam notadas, podendo até mesmo ser observado um aumento da variabilidade.

Deming (1990, p. 225-228) ressalta algumas observações importantes acerca dessa confusão entre causas. Primeiramente ele destaca que segundo a sua experiência 96% dos problemas ou oportunidades de melhoria estão relacionadas às causas comuns, enquanto apenas 6% às causas especiais. Parece bastante coerente considerar que esses percentuais variam de um processo para outro. No entanto, é também razoável validar a

¹⁵ É importante lembrar que jamais as causas comuns podem ser eliminadas por completo, pois isso viola o princípio da existência de variabilidade.

proporcionalidade proposta por Deming, ou seja, é possível afirmar que a maior parcela de responsabilidade quanto a redução de variabilidade é da administração do processo, isto é, dos gerentes, engenheiros e técnicos que têm autoridade de mudar o sistema. Um outro aspecto abordado por Deming é a atribuição de responsabilidade aos operadores pelos problemas ocorridos. Segundo Deming (1990, p. 225-228):

“...Normalmente, a explicação dada para erros de fabricação, nos automóveis, é a falta de cuidado de operários. Isto é inteiramente falso. A falha, se houver, está na administração. A falha pode estar no projeto de uma peça, ou no fato de a administração não levar em conta os resultados dos testes, estando muito apressada para lançar o produto no mercado antes que a concorrência o faça...”

Um terceiro aspecto também abordado por Deming refere-se a atribuir a uma causa especial uma variação que na realidade é devida a uma causa comum. Isso induz ao excesso de ajuste (ou super ajuste, já discutido anteriormente). Quando isso ocorre o operador tentará ajustar a todo tempo o processo, mas não conseguirá manter a estabilidade do processo porque a variação é devida a uma causa comum, a uma causa do sistema. Nesses casos as cartas de controle não funcionariam e o CEP cairia em descrédito.

Rodízio da mão-de-obra sem treinamento adequado

É bastante comum nas empresas a prática da rotatividade de pessoas entre postos de trabalho. Os principais motivos que levam a essa prática é a redução da possibilidade de se adquirir doenças do trabalho e o estímulo a multifuncionalidade. No entanto, é importante lembrar que para se implantar uma carta de controle é necessário um treinamento prático ostensivo, que muitas vezes chega a levar muitas horas. Se se praticar a rotatividade e não se realizar um treinamento adequado para todas as pessoas que possam executar o rodízio, pode-se chegar a uma situação em que as cartas de controle não sejam mais úteis, pois a busca da manutenção da estabilidade de um processo deve ser uma atividade ininterrupta.

Sistema de medição com capacidade inadequada

Um sistema de medição não é composto apenas pelo instrumento de medição. São também componentes desse sistema o operador do instrumento, o ambiente no qual o instrumento está sendo utilizado e as peças a serem medidas. O conceito de capacidade de um sistema de medição está associado a sua repetibilidade e reprodutibilidade. Essa questão é de extrema importância pois o CEP compreende, dentre outras atividades, a tomada de decisão baseada em dados coletados. E para que as decisões sejam confiáveis é premissa básica que os dados também sejam confiáveis. Logo, a metodologia de implantação do CEP deve prever que a capacidade, isto é, que a reprodutibilidade e repetibilidade dos sistemas de medição sejam avaliados.

Sistema de medição com sensibilidade inadequada

Este fator é principalmente relevante para o adequado uso das cartas X. Se o sistema de medição não tiver sensibilidade adequada, as diferenças entre as medições podem ser tão pequenas (ou nulas) que a carta X terá seus limites apertados devido aos pequenos valores de R ou S. Isto, invariavelmente, levará a incidência de muitos falsos alarmes o que inviabiliza o correto uso das cartas de controle (KANE, 1989, p. 130).

Medições não realizadas em tempo real

Pode ocorrer que os resultados das medições demorem um tempo maior que o necessário para que o processo seja analisado e ações corretivas sejam executadas a contento. Nesses casos as cartas de controle efetivamente não servem para o controle, mas apenas como registro de que as medições foram realizadas (histórico). (SHAININ, 1992, p. 254). Logo, se os resultados das medições não forem obtidos em tempo real, o CEP não pode ser praticado como sistema de controle de processos. Neste contexto, a tecnologia da informação pode ser uma aliada (PALM et al., 1997, p. 126). Muitos *softwares* que agilizam a coleta de dados e disponibilização das informações estão disponíveis no mercado.

4.3 - Erros estatísticos

Existe uma diversidade enorme de erros estatísticos que podem ser cometidos durante a aplicação das cartas de controle. Possivelmente existe assunto suficiente para diversos livros de estatística industrial. O texto a ser apresentado nas próximas linhas tem suas limitações quanto ao domínio dessa extensa gama de erros estatísticos. Pretende-se apresentar apenas os erros mais comuns encontrados na literatura pesquisada e nas observações constatadas nas empresas visitadas.

Assim como os erros de planejamento, implantação e gerenciamento do CEP, apresentados nos itens 4.1 e 4.2, os erros de natureza estatística também podem, dependendo da intensidade, inviabilizar ou dificultar a prática do CEP nos ambientes industriais. Ishikawa (1986, p. 200), um dos estudiosos do assunto, ressalta que:

“...durante os anos que foram gastos para implementação das técnicas estatísticas junto às indústrias, desde 1949, enfrentaram-se diversas dificuldades...mesmo hoje, decorridos mais de 30 anos, ainda existem problemáticas a serem sanadas...”

O texto a seguir destaca alguns dos erros cometidos.

Dados falsos

Nesse caso os dados não refletem a realidade do processo, isto é, dados e realidade são divergentes. Duas modalidades de erros geram os dados falsos. A primeira é o erro intencional: o próprio homem manipula os dados. A segunda trata-se de dados colhidos de forma errada (ISHIKAWA, 1986, p. 200). Infelizmente os dados falsos podem inviabilizar o uso efetivo das cartas de controle. Um exemplo foi citado durante um curso sobre controle estatístico de processos. O treinador relatou que durante uma visita a uma fábrica de produtos alimentícios verificou-se que os dados relativos a um determinado processo faziam parte de uma lista pré-definida, isto é, independente do resultados reais de medição, o operador escolhia numa lista de dados a combinação de que poderia indicar um processo sobre controle. Curiosamente observou-se que em uma seqüência de pontos, que para cada ponto abaixo da linha média existia um outro acima, nesta ordem (comunicação pessoal durante um curso sobre CEP em 1994).

Formação inadequada de subgrupos racionais

Um dos aspectos mais importantes no planejamento das amostras é a formação dos subgrupos racionais. O conceito de subgrupos implica em afirmar que a amostra deve ser planejada de forma que qualquer variação que aconteça no processo seja percebida entre amostras e não dentro das amostras.

Apesar de parecer lógico e natural que as amostras sejam planejadas para obedecer o princípio da formação de subgrupos racionais, os procedimentos observados das quatro empresas visitadas não abordavam essa questão.

A principal conseqüência do planejamento incorreto das amostras é que as cartas de controle não funcionarão adequadamente. Exemplo: imagine um processo alimentado por matérias-primas de dois fornecedores distintos. Se uma mesma amostra conter dados relativos aos dois fornecedores, uma eventual variação no processo relacionada a problemas na matéria-prima não seria facilmente detectada. Mais detalhes sobre esse assunto serão apresentados no capítulo 5.

Técnica estatística sem robustez quanto a normalidade dos dados

As cartas de Shewart foram formuladas com base nas propriedades da distribuição normal. Logo, toda a teoria que aborda o cálculo dos limites de controle e os padrões para detecção de causas especiais é baseada na distribuição normal. No entanto, se a distribuição que caracteriza o processo não for normal conclusões erradas podem ser obtidas. Na prática, muitas vezes, as distribuições reais não se enquadram ao modelo da distribuição normal.

As cartas de controle por variáveis X-R e X-S são mais robustas que as X-AM. Enquanto as duas primeiras trabalham com amostras de tamanho maior que uma unidade, a terceira trata de dados individuais. As cartas X-R e X-S trabalham com o princípio da normalidade das distribuições amostrais. Esse princípio diz que a distribuição das médias das amostras pode ser distribuída normalmente mesmo que a distribuição dos dados individuais não o seja. Segundo Costa Neto (1992, p. 48) uma amostra de quatro ou cinco elementos já é suficiente para considerar a distribuição das médias das amostras como uma distribuição normal.

Um erro bastante comum também é cometido nos cálculos dos índices de capacidade do processo, C_p e C_{pk} . As equações para cálculo desses índices são apropriadas a distribuição normal. Se a distribuição das amostras do processo não forem normalmente distribuídas, os resultados obtidos estarão errados, caso as equações tradicionais para cálculos dos índices sejam aplicadas. Boa parte da literatura pesquisada despreza a questão da normalidade, logo é de se esperar que muitas empresas estejam calculando os índices de capacidade sem levar em consideração a normalidade dos dados. Das quatro empresas visitadas apenas uma considera a questão da normalidade. Muitos *softwares* de controle do processo, disponíveis no mercado e aplicados por muitas empresas, também desprezam a questão da normalidade. Um bom exemplo de conclusões erradas que podem ser obtidas quando se despreza a questão da normalidade pode ser observado em Montgomery. (MONTGOMERY, 1991, p. 377-378)

Seleção inadequada da carta de controle

A seleção inadequada da carta de controle é um dos erros estatísticos mais comumente observados nas indústrias. Os procedimentos utilizados pelas quatro empresas visitadas limitam as cartas de controle às cartas convencionais. Na realidade poucas aplicações são observadas de outros modelos, tais como CUSUM e Multivariável, entre outros.

No entanto, o erro mais comum é a adoção de uma modelo de carta de controle sem que se faça a análise de correlação dos dados que representam o processo (ver capítulo 2). Em nenhuma das empresas visitadas verificou-se um procedimento relativo a avaliação da correlação. A maior parte da literatura consultada também não aborda essa questão.

Um outro exemplo é a seleção de cartas de controle por atributos "p" sem a análise prévia do índice médio de produtos defeituosos. Estas funcionam bem para processos que apresentam rejeitos na ordem de percentuais. Para processos cujos resultados são da ordem de partes por milhão ou partes por bilhão essas cartas não são adequadas. Seria necessário um elevado tamanho de amostra para detectar uma única peça defeituosa.

Inexistência de critério para se selecionar tamanho e frequência de amostra

A determinação do tamanho e frequência de amostragem deve ser feita com base em dois aspectos:

- dimensão das variações no processo que se deseja detectar;
- considerações econômicas

Em geral quanto maior os tamanhos da amostra e frequência de amostragem maior é a sensibilidade da carta de controle em detectar pequenas variações no processo, mas em compensação mais onerosa financeiramente é a obtenção das mesmas. Na prática as empresas em geral não abordam essa questão. Um exemplo são os procedimentos para implantação das cartas X-R. As empresas visitadas recomendam a adoção de tamanho de amostra em torno de quatro ou cinco elementos, sem que sejam levados em consideração tanto a questão da sensibilidade quanto os aspectos econômicos.

Implantação do CEP em processos fora de controle

Apresentar-se em estado de controle estatístico é a condição básica para utilização de cartas de controle em processos de manufatura. No capítulo 2 foi ressaltado o conceito de estado de controle estatístico. Apresentar-se em estado de controle significa ter apenas causas comuns presentes no processo. Sob o ponto de vista da previsibilidade significa ter a média e a dispersão previsíveis ou estáveis ao longo do tempo, isto é, se um processo é previsível pode-se antever, com certo risco estatístico, o seu comportamento futuro, em termos de média, dispersão e forma da distribuição. Ao contrário se este é imprevisível, a estimativa torna-se embutida de elevados riscos, inviabilizando a confiança das decisões.

Implantar cartas de controle em processos fora do estado de controle representa uma atitude inadequada, porém bastante difundida. Este é um dos motivos que mais dificulta a correta interpretação destas ferramentas.

Se se utiliza uma ferramenta estatística de controle em um processo fora de controle os riscos estatísticos de se obter conclusões erradas aumentam significativamente. Utilizar uma carta de controle é realizar um teste de hipóteses (COSTA NETO, 1992, p. 85-94). Suponha o exemplo da carta de controle \bar{X} . Geralmente especifica-se 3 desvios padrões amostrais (3σ) para carta \bar{X} , e como esta é baseada no modelo da curva normal isto representa uma “variável normal padronizada z ” igual a 3. Se a média do processo em questão for μ_0 , então os limites do teste de hipótese podem ser facilmente calculados por $\bar{x}_1 = \mu_0 + 3\sigma_x$ e $\bar{x}_2 = \mu_0 - 3\sigma_x$, que na prática são os limites de controle da carta \bar{X} . Assim está se testando 2 hipóteses:

$$H_0: \mu = \mu_0$$

$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Quando se retira uma amostra e se plota a média amostral \bar{X} na carta de controle e esta se situar entre os limites de controle (definidos pelo 3 desvios padrões) considera-se a hipótese H_0 como verdadeira, isto é, está se afirmando com um certo risco estatístico de que a média do processo é igual a μ_0 .

Neste teste de hipóteses estão associados 2 erros:

Erro tipo I: erro de se rejeitar H_0 quando é H_0 verdadeira.

Erro tipo II: erro de se aceitar H_0 quando é H_0 falsa.

A probabilidade α de se cometer o erro do tipo I para a carta de controle \bar{X} com limites 3σ é 0,27%, valor este determinado pelas áreas abaixo e acima dos limites 3σ na curva normal. Em outras palavras, pode-se dizer que existe uma probabilidade de 0,27% de se dizer que o processo está fora de controle estatístico quando na realidade ele se encontra em estado de controle estatístico. O aumento do erro α pode ser facilmente entendido pelo aumento do desvio padrão, situação típica de um processo que saiu do estado de controle estatístico. Se os limites de controle, isto é, os limites do testes de hipóteses não forem alterados o erro α pode aumentar significativamente.

A probabilidade de ocorrer o erro do tipo II é denominada β . Para se entender a variação desta probabilidade para um processo que sai do estado de controle estatístico vamos considerar neste caso a variação da média do processo. Suponha que o processo tenha variado sua média de μ_0 para μ_1 , sendo $\mu_1 > \mu_0$, em outras palavras, que a hipótese H_0 é agora falsa. Logo se os limites de controle forem conservados a probabilidade β pode aumentar significativamente. Em outras palavras, se o processo deslocar significativamente sua média original μ_0 para um μ_1 , e os limites de controle não forem recalculados, ocorre uma probabilidade de se afirmar que o processo está sob controle quando na verdade ele não está

Logo um pré-requisito essencial para utilizar eficazmente cartas de controle como ferramentas de controle é colocar antecipadamente o processo sob estado de controle estatístico. O não atendimento a esta condição inviabiliza totalmente o uso destas ferramentas estatísticas, como pode ser observado nas demonstrações anteriores. Como será visto no item a seguir a revisão periódica dos limites de controle é essencial a prática efetiva do CEP.

Falta de revisão periódica dos limites de controle

Os limites de controle necessitam ser revisados periodicamente. Essa periodicidade varia de processo para processo. Não existe, a princípio, uma regra fixa. No entanto, no período de estabilização do processo a revisão torna-se mais freqüente. Na prática muitas empresas implantam as cartas de controle e esquecem de recalculá-los. Se não se revisa os mesmos, não se pode manter o processo em seu estado de controle estatístico, pois variações na média ou na dispersão do processo são eventos esperados. A responsabilidade pela revisão não é do operador, mas sim dos engenheiros e técnicos que assessoram a implementação das cartas de controle. A falta de revisão dos limites de controle pode ser um indicador de que não estão sendo realizados esforços para melhoria do processo, ou seja, pode ser uma evidência de que o objetivo inicial estabelecido seria implantar a carta de controle e não reduzir a variabilidade do processo.

Utilização de limites de controle incorretos

Algumas vezes os limites de controle são calculados uma única vez e adotados “eternamente” para o processo, conforme visto no item anterior. Outras vezes limites de controle inadequados são utilizados. A prática mais freqüente é a utilização de limites de especificação do produto ou processo ao invés dos limites naturais do processo. Em uma das empresas visitadas limites de especificação do produto estavam sendo utilizados para características de qualidade de um processo químico. O argumento utilizado é de que os limites de controle eram muito fechados e dificultariam o controle do processo. Consequentemente não foi observada uma redução da variabilidade ao longo do tempo. Dale e Lightburn (1992, p. 371) também destacam um exemplo de aplicação inadequada de

¹⁶ O valor de σ é estimado a partir de uma amostra, utilizando-se os valores da amplitude R e de uma constante d_2 .

cartas de controle em um setor de inspeção de uma empresa do ramo metal-mecânico. Os limites de controle de umas das cartas era baseado na tolerância e obviamente não promovia melhorias no processo.

Avaliar a capacidade de processos não estáveis

A capacidade de um processo é a habilidade que o mesmo tem em fornecer produtos que atendam às especificações de projeto. A avaliação da capacidade é um mecanismo que permite avaliar o quanto o CEP está sendo efetivo em reduzir a variabilidade do processo. No entanto, essa capacidade somente pode ser avaliada se o processo for estável. (DEMING, 1990, p. 224).

A justificativa é simples: se um processo não é estável ele não tem um padrão uniforme de comportamento estatístico ao longo do tempo, isto é, existem variações decorrentes de causas especiais que acarretam oscilações na média e/ou na dispersão que tornam impossível caracterizar a distribuição do processo. Ora o processo pode apresentar uma baixa variabilidade, ora pode apresentar elevada variabilidade. Em outras palavras, pode-se dizer que não é possível prever com base em uma amostra coletada em um instante t qual será o comportamento estatístico do processo em um instante $t+1$. Logo, se se retirar uma amostra para a avaliação da capacidade de um processo não estável, não se saberá se no instante $t+1$ após a retirada da amostra se esse continuará capaz. Sob o ponto de vista da melhoria de processos é uma informação que não permite a execução de ações efetivas visando a redução da variabilidade.

Em uma das empresas visitadas verificou-se que o procedimento praticado para avaliação da capacidade não exigia que a estabilidade do processo fosse primeiramente avaliada. Consequentemente as informações não eram utilizadas para a execução de melhorias sobre o sistema, objetivando a redução de variabilidade.

Conforme já dito anteriormente muito pouco tem sido publicado sobre as dificuldades e erros cometidos pelas empresas que procuram praticar o CEP corretamente. A maioria dos autores se concentra nos aspectos estatísticos, na importância e vantagens do CEP. Muitos autores estão voltados para o desenvolvimento de novas abordagens e metodologias, sem se preocupar com o aspecto prático dessas, isto é, com a suas implementações. De acordo com Crowder et al. (1997, p.139) :

“... existem poucas áreas da estatística como o CEP em que existe um *gap* tão expressivo entre o desenvolvimento de metodologias e a aplicação dessas...”

Saniga (1997, p. 152) complementa que:

“...existe um *gap* entre o que é produzido e o que é utilizado...”

No entanto, estudos sobre aplicações práticas são necessários e importantes para o progresso do CEP. Muitos erros ainda são cometidos na aplicação das cartas de controle. Logo, existe um vasto campo para a pesquisa. De acordo com Box et al. (1997, p. 128) existe um estudo demonstrando que a violação aos conceitos estatísticos em 235 aplicações

práticas é a regra e não a exceção. Aproximadamente 85% das cartas de controle estavam sendo utilizadas incorretamente.

Em relação da escassez de pesquisas de ordem prática Palm et al. (1997, p. 122-127) tem uma explicação. Ele divide os estudiosos do CEP em três grupos. Um primeiro é formado pelas pessoas que trabalham nas indústrias e em outras instituições, e estão preocupadas em melhorar os processos e produtos e, conseqüentemente, aumentar a competitividade através da aplicação das cartas de controle convencionais. Um segundo grupo é formado por estatísticos que trabalham perto de engenheiros e técnicos, e estão preocupados em desenvolver e aplicar a cartas de controle mais avançadas. Um terceiro é formado por acadêmicos e estão preocupados em desenvolver e comprovar teorias estatísticas. Para Palm et al. (1997, p. 122-127), pessoas desse último grupo são os que pesquisam e divulgam seus trabalhos em revistas especializadas, logo é de se esperar que a maioria das publicações sejam de cunho teórico. No entanto, Wheeler (1997, p. 155) utiliza um argumento simples que justificaria que essas pesquisas tivessem uma abordagem mais voltada às aplicações práticas: o maior de todos os grupos é o primeiro, formado por engenheiros e técnicos preocupados com a melhoria da qualidade.

Entre os poucos textos encontrados sobre os erros e dificuldades relacionados ao CEP um bom trabalho foi publicado por Dale & Lightburn (1992, p. 371-381). Esses autores realizaram uma análise dos diversos problemas encontrados em algumas aplicações de cartas de controle em uma indústria fornecedora de componentes para motores situada na Europa. Um outro texto também interessante, de cunho mais teórico, foi publicado por Owen (1989, p. 329-342). Esse autor fornece uma visão geral dos principais erros que podem ser evitados na implantação do CEP. Devido a essa carência de literatura, a maior parte das informações para elaboração desse capítulo foram obtidas junto às empresas visitadas. Acredita-se que os assuntos tratados nesse capítulo e no precedente constituíram uma adequada base de informações para elaboração do capítulo 5, que trata da proposta de metodologia para implantação do CEP.

CAPÍTULO 5 - UMA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO E GERENCIAMENTO DO CEP

Esse penúltimo capítulo apresenta uma proposta de um modelo para implantação de gerenciamento do controle estatístico de processos. De forma a proporcionar um entendimento melhor do modelo, quando conveniente e possível, são apresentados conceitos encontrados na literatura e exemplos práticos que representam casos reais de empresas visitadas.

A proposta de metodologia a ser apresentada pode ser caracterizada como abrangente. O principal argumento para adotar esse tipo de modelo é a diferença de cultura entre organizações, pois este é um dos fatores que mais influenciam o desenvolvimento e implantação de um método de gestão. Cada organização têm características próprias, e isto deve ser levado em consideração (SHAININ, 1992, P. 255). Neste contexto, um guia de implementação do CEP deve ser flexível o suficiente para se adaptar às necessidades particulares de cada organização (OWEN, 1989, p. 315). Logo, a característica principal do modelo aberto a ser apresentado neste capítulo é que o mesmo deve ser aplicável a qualquer tipo de organização industrial e processo de manufatura, sendo que o detalhamento e adaptação do modelo fica condicionado a cultura e peculiaridades de cada organização, ou até mesmo de cada setor ou processo.

As diferenças culturais entre organizações têm sido amplamente evidenciadas nas implantações de programas de qualidade. Muito do sucesso econômico japonês tem sido atribuído ao esforço do país pela implantação das ferramentas e metodologias da qualidade. Modelo de Gestão Japonês, Gestão da Qualidade Total, Controle Total da Qualidade, seja lá qual for o nome adotado, estes modelos têm seus pilares extremamente associados a cultura japonesa. A realidade cultural brasileira é bastante diferente da japonesa. E dentro do Brasil existem diferentes tipos de organizações e culturas, e extrapolando pode-se dizer que até mesmo dentro de uma mesma organização podem existir distintas culturas, dependendo do tamanho da organização, número de unidades, dentre outros aspectos. Logo o que pode dar certo em uma pode não dar certo em outra. Portanto, importar ou transportar metodologias e estratégias de implantação pode acarretar desperdícios incalculáveis de tempo, dinheiro e esforço humano.

Nadler et al. em seu livro "Arquitetura organizacional - A chave para Mudança Empresarial" destacam a importância de se desenvolver em cada organização a metodologia própria de implantação do TQM (NADLER et al., 1994, p. 135). Considerando o CEP como uma ferramenta do Sistema de Gestão da Qualidade Total (GQT), os comentários do autor se estendem também a esta ferramenta:

"... A administração da qualidade total (TQM), a multifacetada busca de qualidade em todas as funções, atividades e partes de uma empresa, é uma mudança organizacional profunda em grande escala. Exige investimentos significativos de tempo e esforço, particularmente pela administração superior. Não deve ser empreendida sem um conhecimento claro da complexidade da viagem e da constante dedicação que exige. Como não há duas organizações exatamente iguais em termos de história, cultura e prioridades estratégicas, o diagnóstico é de importância fundamental antes do mergulho, ou de se imitarem até mesmo esforços bem sucedidos de outros. Situações diferentes criam desafios e oportunidades diferentes. E como disse o famoso caixeiro-viajante de Arthur Miller, Willy Lomam: "É preciso prestar atenção"."

Após defendida a tese da proposta aberta de implantação e gerenciamento do CEP dividiu-se didaticamente o modelo em 3 etapas:

- ✓ Planejamento da implantação
- ✓ Metodologia estatística de avaliação para a implantação
- ✓ Gerenciamento de processos: estabelecimento da rotina

Cada etapa supracitada é detalhada nos itens que se seguem neste capítulo.

5.1 - Planejamento da implantação

O planejamento da implantação se subdivide em 5 partes, a saber:

- ✓ Definição dos objetivos do CEP
- ✓ Definição do Sistema Integrado de Gerenciamento da Qualidade
- ✓ Seleção dos Processos
- ✓ Seleção dos Característicos de Qualidade
- ✓ Planejamento da Mudança Organizacional

5.1.1 - Definição dos objetivos do CEP

Definir os objetivos do CEP é o pontapé inicial do programa. Abortar o programa precocemente pode constituir custo oportunidade¹⁷. O primeiro passo para se decidir pela implantação do CEP é realizar uma análise crítica da real necessidade do mesmo. Algumas perguntas poderiam ser respondidas tais como:

- ✓ Quais os objetivos a serem atingidos com esta ferramenta?
- ✓ Seria o CEP o sistema de gestão de processos adequado as minhas necessidades?

Muitas vezes podem não estar claramente definidos estes objetivos. Motivos aparentes tais como pressões de clientes, modismo ou outros menos concretos podem levar o CEP ao descrédito após longo esforço despendido.

É necessário entender que o CEP é uma ferramenta de gestão, portanto é um meio de se alcançar algum objetivo. Logo o CEP não constitui um objetivo em si. Nenhuma organização vai ser mais ou menos competitiva porque implantou o CEP. A competitividade da organização poderá ser oriunda dos resultados proporcionados pela aplicação do CEP, tais como a melhoria da capacidade dos processos críticos¹⁸ da organização.

Para definir os reais objetivos do CEP é importante inicialmente concebê-lo como uma estratégia da empresa, isto é, como um meio de se atingir algum resultado que acarrete mais competitividade, tais como melhoria da qualidade dos produtos fornecidos e redução dos custos da não qualidade. Este é o primeiro passo para transformar o CEP num programa sólido na organização.

Em seguida é importante definir indicadores de desempenho para estes objetivos. Número de cartas de controle implantadas, número de processos controlados via CEP não são bons indicadores de desempenho. Deve-se privilegiar os indicadores que medem diretamente os resultados obtidos com a implantação do CEP, tais como a redução de variabilidade obtida, o número de processos críticos capazes e os custos de sucata ou de reprocesso.

¹⁷ Custo oportunidade – custo de se decidir por outra alternativa mais lucrativa ou rentável (MAITAL, 1996, p.20-26)

¹⁸ Processos críticos – são aqueles relativos as características de qualidade que são realmente importantes para o desempenho do produto.

5.1.2 - Definição do Sistema Integrado de Gerenciamento da Qualidade

O CEP não é uma ferramenta estanque e isolada, mas sim um subsistema gerencial que faz parte de um sistema maior e integrado de gerenciamento da qualidade. Estruturar o CEP neste contexto auxilia a entender toda a cadeia de gerenciamento da qualidade.

O modelo básico deste sistema é desenhado segundo a trilogia de Juran: (JURAN, 1993, p.21-26). Neste modelo diversos métodos e ferramentas da qualidade podem ser integradas de forma a possibilitar o cumprimento das etapas do gerenciamento da qualidade: planejamento, controle e melhoria. Um exemplo de sistema pode ser observado na figura a seguir:

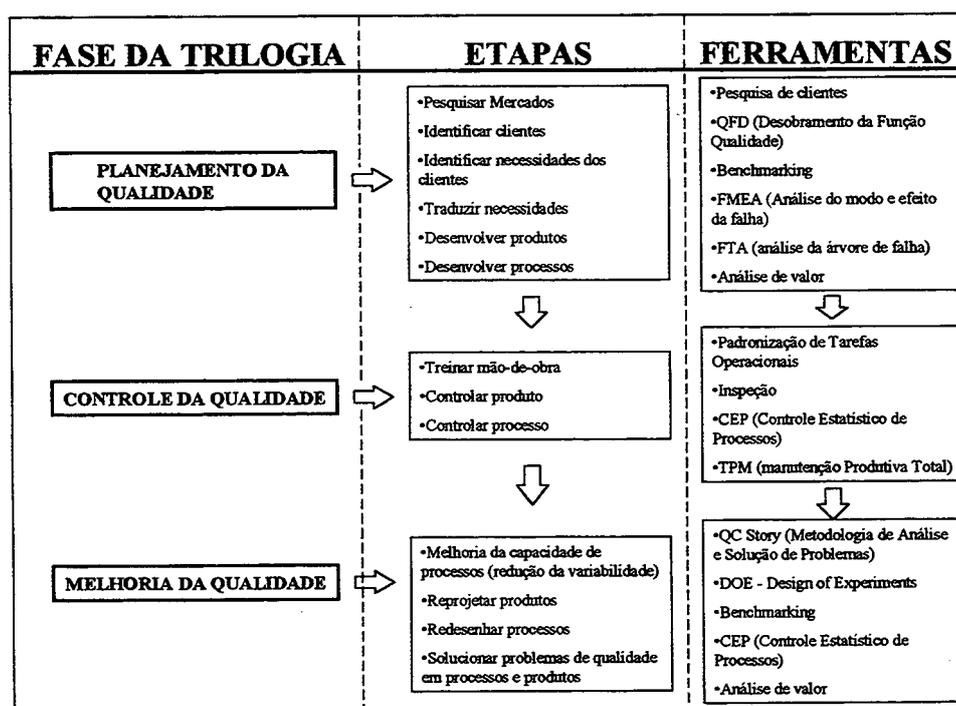


Figura 15 - Sistema Integrado de Gestão da Qualidade: fases da Trilogia x ferramentas

Desta forma, o CEP não é uma ferramenta isolada, isto é, a sua utilização adequada depende da integração e aplicação de outros subsistemas de gestão. Para o efetivo emprego deste método gerencial é necessário que cada organização defina o seu sistema de gestão, estabelecendo o papel de cada método ou ferramenta, e explicitando particularmente em qual etapa ou fase do seu sistema integrado de gestão o CEP será aplicado. Logo, poderia se evitar o erro cometido em muitas organizações de tratar o CEP como um método isolado, não demonstrando a real função desta ferramenta em todo o sistema gerencial da empresa.

Um exemplo conceitual de integração é apresentado na figura a seguir:

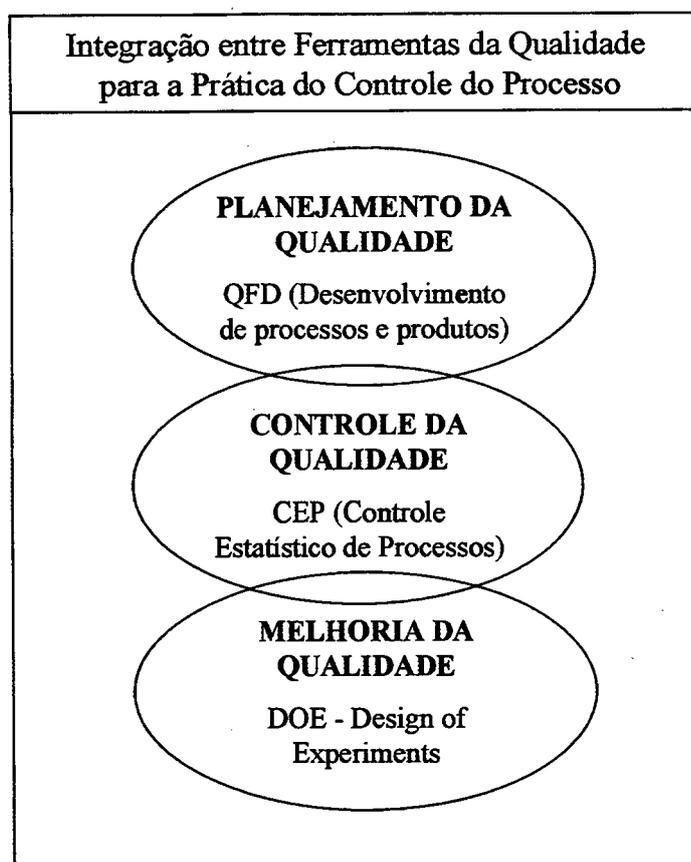


Figura 16 – Integração do CEP com outras ferramentas da Gestão da Qualidade

A figura anterior demonstra 3 ferramentas que podem ser integradas em um sistema estruturado segundo a Trilogia de Juran. Na etapa de Planejamento da Qualidade seriam selecionados os característicos de qualidade durante a fase de desenvolvimento do produto e processo através da aplicação do QFD – Desdobramento da Função Qualidade (CHENG et al., 1995). Ainda durante o desenvolvimento dos processos o CEP pode ser planejado, e sua utilização pode ser útil na avaliação e validação dos novos processos. O CEP aqui ainda não é utilizado como mecanismo de monitoramento do processo em tempo real, mas sim como um meio de avaliação da estabilidade e capacidade dos processos para fins de aprovação. A entrega destes novos processos para os órgãos de produção geralmente se realiza na interface entre as fases de planejamento e de controle da qualidade. E é nesta segunda fase que o CEP pode ser efetivamente utilizado para manutenção da variabilidade. Na última fase da Trilogia é que se executa a melhoria dos processos: para a redução da variabilidade dos característicos de qualidade pode ser utilizada a ferramenta DOE (*Design of Experiments* ou Planejamento de Experimentos) durante a fase de melhoria da qualidade. Exemplos de modelos integrados foram apresentados no capítulo 3, oportunamente denominados “Abordagem Motorola” e “Abordagem Breyfogle”.

O desenho de uma abordagem integrada permite que o controle do processo seja realizado apenas sobre os característicos que são realmente importantes para o desempenho do produto, fator este essencial para a efetiva melhoria dos processos.

5.1.3 - Seleção dos Processos

A seleção de processos está atrelada a seleção dos característicos de qualidade, pois controlar um processo neste sentido significa controlar seus principais característicos. Mas antes de falarmos da seleção dos pontos de controle vamos falar dos aspectos gerais dos processos candidatos ao CEP.

A primeira restrição na seleção de processos é a não possibilidade de intervenção humana quando os mesmos estiverem fora de controle estatístico (SHAININ, 1992, p. 251-257). Esta restrição é válida para os processos que não são controlados automaticamente. Logo, se a intervenção humana não for possível, o processo não deve ser selecionado para ser controlado através do CEP. Por intervenção humana entende-se a investigação das causas especiais que tornam o processo fora do estado de controle estatístico e a tomada de ações corretivas necessárias para recuperar sua estabilidade. Para que estas ações sejam executadas é necessário que seja possível o controle das fontes de variação que afetam os característicos de qualidade. Logo, para ser possível praticar o CEP em um posto de trabalho é fundamental que a pessoa que utiliza diretamente o recurso estatístico como ferramenta de controle tenha os meios para interferir no processo quando necessário. Se essas pessoas não tem a autoridade e o meio para ajustar um processo, o CEP não deve ser implantado. Esse aspecto é mais detalhadamente discutido no item 5.3 que trata do gerenciamento de processos: estabelecimento da rotina.

Uma outra restrição a seleção de processos é a limitação humana de aprendizado, fator este que varia de organização para organização. A implantação do CEP é acima de tudo uma fase de aprendizado e como tal deve ser paulatino. A resistência à mudança, que também varia para cada organização, é também uma restrição. Para contornar essas duas restrições a diretriz básica sugerida neste modelo é que se priorizem poucos locais, evitando a implantação em massa. A organização pode não ter recursos, capacidade técnica e experiência para gerenciar muitas áreas. Em geral é melhor começar pequeno e ir descobrindo aos poucos quais são as limitações, barreiras e dificuldades, de forma que essas possam ser gerenciadas e solucionadas em tempo hábil (SHAININ, 1992, p. 255).

Um outro fator de restrição é o nível educacional das pessoas que trabalham no processo. Quanto melhor o nível educacional das pessoas que atuam diretamente nos processos, mais fácil será a implantação de cartas de controle. Este fator se torna mais crítico para aqueles processos em que são necessárias cartas de controle mais elaboradas, tais como os modelos ARIMA. Um fator de motivação na implantação das maiores metodologias e ferramentas da qualidade é a obtenção de resultados consistentes em tempo apropriado. Por tempo apropriado entende-se aquele necessário para se mostrar as pessoas que a ferramenta realmente é efetiva, não desestimulando-as devido longos períodos de espera. E este fator é de extrema relevância quando se trata de ambientes de manufatura. Para atender a este item a regra geral é apostar nos locais certos: em uma organização, provavelmente, existem lugares em que se tem mais chances de se obter sucesso com a implantação de uma ferramenta. E isto não é diferente para o CEP. Portanto, privilegiar os “fazedores” pode ser uma boa estratégia. Estes são aqueles que se comprometem com a implantação da ferramenta. São aqueles que fazem acontecer, que transformam os obstáculos em desafios. E todas as organizações possuem estes tipos de pessoas, assim como possuem os tipos de pessoas resistentes.

No entanto, muitas vezes o CEP, por diversas razões, não pode ser aplicado. Para esses processos que demandam controle mas o CEP não é de passível execução o controle automático pode ser a opção mais viável. Por controle automático entende-se o controle que geralmente se utiliza da inspeção 100% das peças produzidas com ajuste automático. (BOX, 1997, p. 128). A recíproca também é verdadeira: não faz sentido em se implantar CEP em processos controlados automaticamente.

5.1.4 - Seleção dos Característicos de Qualidade

Utilizar o CEP para um elevado número de característicos, principalmente quando dentre esses existem muitos que não são tão importantes para o processo, é um passo rápido para a “aposentadoria” dessa ferramenta em uma empresa. Esta é uma das principais causas que tornam as cartas de controle “papéis de parede” em muitas fábricas, servindo apenas como histórico e não como ferramenta de controle do processo em tempo real.

O primeiro passo para selecionar um característico é determinar se esse é realmente importante para o produto ou processo. É neste ponto que se percebe a necessidade de se adotar um modelo integrado de gestão da qualidade. O característico de qualidade pode ser determinado em 2 fases distintas:

Para processos em desenvolvimento:

- ✓ durante o desenvolvimento de produtos e processos ferramentas tais como o QFD e a FMEA podem ser úteis na determinação dos característicos que estejam relacionados à satisfação dos desejos dos clientes.

Para processos implantados:

- ✓ durante o monitoramento normal do processo, a análise dos resultados de qualidade, tais como análise de Pareto, e a aplicação de ferramentas tais como o FMEA são úteis na determinação dos característicos importantes que não foram definidas durante a fase de desenvolvimento do produto ou do processo, ou até mesmo para comprovar a real importância dos característicos definidos durante o desenvolvimento do produto ou processo.

Para característicos do produto ferramentas como FMEA e QFD já podem ser suficientes para indicar sua importância. No entanto, quando se controlam característicos do processo estão se controlando parâmetros que afetam algum aspecto da qualidade do produto. Portanto, para esses característicos é necessário comprovar a suas correlações com qualidade do produto. Neste sentido, Shainin afirma que as características de processo somente podem ser corretamente identificadas se forem comprovadas empiricamente (SHAININ, 1992, p. 256). Ferramentas tais como DOE - *Design of Experiments* podem ser úteis nessas comprovações. Métodos subjetivos tais como *brainstorming*, adivinhação ou outros podem ser inadequados.

As indústrias utilizam diferentes métodos para determinação dos característicos críticos. Um exemplo foi verificado na empresa B. A ferramenta empregada para seleção destas características foi o FMEA de processo, aplicado durante o desenvolvimento de processos. Além disso, característicos que representam itens de segurança do consumidor também são

candidatos ao CEP. Observou-se nos planos de qualidade que poucos característicos são controlados via CEP. A maior parte é controlada através de inspeção por amostragem.

Um outro exemplo foi observado na empresa A. Em um processo de manufatura de motores elétricos já implantado, os característicos de qualidade foram selecionados através de análise de Pareto, sendo priorizadas as característicos que mais afetavam os índices de qualidade de campo.

5.1.5 – Planejamento da Mudança Organizacional

Nadler et al. (NADLER et al., 1994, p.123-135) no livro “Arquitetura Organizacional – A Chave para a Mudança Empresarial” destacam diversos pontos acerca da relação existente entre a implantação de um sistema de Gestão da Qualidade Total, ou , TQM – *Total Quality Management* e um processo de mudança organizacional. As diversas observações ressaltadas por ambos os autores no texto supracitado podem ser estendidas à implantação de qualquer ferramenta ou metodologia da qualidade. Dito isto, as diretrizes para o “Planejamento da mudança” , a que se refere esta parte do trabalho, foram elaboradas com base nos principais pontos destacados por Nadler et al..

Inicialmente é importante considerar o CEP como um processo de mudança organizacional em grande escala. Para tanto, utilizou-se nesta proposta de implantação o modelo de comportamento e desempenho organizacional baseado na teoria dos sistemas abertos, também conhecido como modelo Nadler-Tushman (NADLER et al., 1994, p. 41-44). Essa estrutura apresenta uma organização como um macro sistema que transforma insumos em produtos. Segundo esse modelo as organizações são basicamente compostas de quatro componentes: o **trabalho** que a organização tem que desempenhar; as **pessoas** que a organização possui para realizar este trabalho; as **disposições organizacionais formais**, isto é, as estruturas organizacionais, os sistemas e processos desenvolvidos para que as pessoas realizem o trabalho; e a **organização informal** que inclui coisas como valores, crenças, cultura e estilo operacional. A eficiência de uma organização será tanto maior quanto melhor for a harmonia entre estes quatro elementos.

Utilizando o modelo de organização de Nadler-Tushman como referência pode-se afirmar que a prática contínua e efetiva do CEP pode demandar mudanças significativas nas estruturas organizacionais, nas tarefas das pessoas (rotina de atividades) e em diversos outros tópicos relacionados a maneira como uma organização funciona (principalmente para áreas produtivas). Sendo assim, o planejamento da mudança deve considerar os quatros elementos organizacionais, para que a implantação do CEP tenha maior possibilidade de sucesso.

Antes de se definir a forma de se conduzir a mudança organizacional um diagnóstico da cultura da organização pode ser uma etapa importante. É condição básica que as pessoas, os valores, os métodos, as políticas da organização estejam predispostas à melhoria da qualidade. Logo, se o diagnóstico da cultura for favorável à qualidade, o planejamento da mudança organizacional deve ser iniciado.

Existem várias formas de se tratar a questão da mudança organizacional. A metodologia ou estratégia a ser adotada varia de acordo com a própria natureza da mudança (objeto de mudança), tamanho da organização, cultura da organização, dentre outros aspectos. Esta metodologia de implantação do CEP delinea as principais estratégias de transição, a saber:

- ✓ a - Definição de responsabilidades
- ✓ b - Estruturas de Administração da Transição
- ✓ c - Comportamento da Administração
- ✓ d - Treinamento
- ✓ e - Comunicação

a - Definição de responsabilidades

Dois grupos de responsabilidades devem ser definidos: um para implantação do CEP e outro para aplicação contínua da ferramenta após esta ter sido implantada. Para o primeiro grupo diversas arquiteturas organizacionais de transição podem ser desenhadas. O item “Estruturas de Administração da Transição” apresenta as principais responsabilidades que compõem este grupo.

A definição de responsabilidades do segundo grupo parece ter uma única opção. Como o principal objetivo do CEP é a redução de variabilidade dos processos de fabricação, parece bastante conveniente e adequado que os próprios responsáveis por estes processos sejam também os responsáveis pela aplicação efetiva do CEP. Em outras palavras, o CEP deve ser uma ferramenta que os órgãos de produção¹⁹ devam fazer uso para melhorar seus resultados. Atribuir a outros órgãos a responsabilidade pelo CEP constitui uma estratégia inadequada.

No entanto, atribuir a Produção a responsabilidade pela aplicação do CEP requer uma estrutura organizacional adequada para que a ferramenta seja utilizada. Explicando melhor: sob o ponto de vista da ação corretiva o CEP pode ser dividido em duas partes: o CEP operacional, responsável pela eliminação das causas especiais, e o CEP gerencial, responsável pela eliminação das causas comuns. Enquanto o primeiro geralmente é executado pelos funcionários que operam diretamente as máquinas e equipamentos de produção, o segundo, geralmente, é executado por engenheiros e técnicos. Desta forma, a aplicação efetiva do CEP requer que os órgãos de produção tenham sob sua autoridade as ditas funções técnicas, para que as ações corretivas para eliminação de causas comuns aos processos sejam eficientemente tomadas. O item **Gerenciamento de Processos - estabelecimento da rotina** apresenta de forma mais detalhada as atividades necessárias tanto para execução do CEP operacional, quanto para execução do CEP gerencial.

b - Estruturas de Administração da Transição

Em todas as empresas visitadas foi verificado que uma estrutura especial para implantação do CEP foi desenhada. A adoção de estruturas transitórias para ajudar a organização passar do estado atual para um estado futuro desejado é bastante importante, pois o CEP, como já dito anteriormente, demanda uma diversidade de recursos, tais como pessoas, tempo e investimentos.

Essas estruturas transitórias podem ser planejadas de diversas formas, variando de empresa para empresa. De um modo geral, os principais componentes devem ser:

¹⁹ Por órgãos da produção entende-se aqueles setores das empresas que transformam matéria-prima e/ou componentes em produtos acabados nos processos de fabricação. É bastante comum encontrar também os termos Produção ou Manufatura.

Cargos e funções: se a implantação do CEP for tratada como um projeto, a nomeação de um “gerente de projeto” pode ser bastante útil. A principal função deste deve ser a de coordenar todos os recursos destinados a implantação do CEP. Além das diversas habilidades de um gerente de projeto, tais como de comunicação, de liderança de pessoas, de gerenciamento de recursos, dentre outros, é importante que a pessoa que ocupe esta função tenha boa aceitação nos diversos departamentos da organização, pois a implantação do CEP não raramente demanda recursos, pareceres e decisões de diversos órgãos da empresa, tais como os de produção, de engenharia e de garantia da qualidade. Um exemplo a ser citado é a verificação da tolerância especificada para o produto ou processo apresentada no item 5.1.4 que trata da seleção dos característicos de qualidade. Shainin (1992, p. 255) ressalta que:

“... se a tolerância não estiver correta o CEP pode não ser uma ferramenta eficaz, e isto pode levar os implantadores a frustração.... A implantação do CEP representa a introdução de um controle racional nos processos de manufatura, mas estes processos são os resultados de muitas decisões feitas por Vendas, Projetos, Produção e possivelmente outros. ... no entanto, a maioria das decisões são tomadas subjetivamente. E não é surpresa se estas não forem as melhores... Portanto a implantação do CEP sugere que as decisões devam envolver todas as partes da organização. Cada pessoa envolvida deve concordar em corrigir seus erros. Sem este compromisso a companhia não obterá os benefícios que o CEP oferece.”

Subordinados a função gerencial poderiam ser alocados funções técnicas específicas, geralmente denominadas especialistas ou facilitadores. A principal função destas pessoas é o apoio técnico, que é tão importante quanto o treinamento. Frequentemente os treinamentos formais não são suficientes para capacitar a organização para a prática do CEP. Neste sentido, o apoio técnico é essencial e preferencialmente deve ser fornecido por pessoas da própria organização. Uma estratégia adequada é a formação de facilitadores ou especialistas da qualidade. Estas pessoas devem ter o perfil adequado, que compreende boa capacidade de comunicação interpessoal, predisposição para aprender e ensinar técnicas estatísticas, devem pensar de forma sistêmica e apresentar adequado senso crítico. Além disso, é essencial que tenham conhecimento dos processos de fabricação onde será implantado o CEP, pois o conhecimento de estatística isolado só não promove a melhoria de processos. É necessário para tanto se ter boa capacidade de análise crítica, que provém da conjugação entre o conhecimento do processo e o conhecimento das técnicas de análise estatística. Adicionalmente, é importante que os gerentes das áreas responsáveis pela implantação tenham autoridade sobre essas pessoas, para que as mesmas possam atender os chamados de assessoria técnica nos tempos adequados. A empresa B possui um grupo de assessores técnicos para o CEP formados por engenheiros da qualidade. É importante ressaltar que a responsabilidade dessas pessoas é prestar assessoria e não implantar o CEP. Complementarmente, como após a implantação a responsabilidade pela aplicação do CEP será dos órgãos produtivos, é importante que pessoas desses órgãos integrem a equipe de implantação desde o início do projeto. No entanto, a estrutura para implantação deve ser dimensionada com base no “tamanho” do projeto. Se se começar com poucos característicos e processos talvez não seja necessária sequer a nomeação de um gerente. Cada situação deve ter um tratamento especial.

Definição de prioridades: após definida a estrutura de cargos e funções é de essencial importância definir a prioridade em termos de tempo dedicado ao projeto de implantação do

CEP. Em muitas empresas, principalmente as de grande porte, é bastante comum a implantação de diversas ferramentas gerenciais simultaneamente. A não alocação de prioridade para a equipe responsável pela implantação pode significar o insucesso do programa precocemente.

Comitês: além da estrutura de cargos e funções descritas nos itens anteriores, a formação de comitês de avaliação do projeto é também bastante útil. A principal função destes comitês é avaliar o andamento do projeto comparando sistematicamente os resultados obtidos com as metas planejadas para a implantação do CEP. É recomendável que esses comitês sejam específicos e dedicados ao CEP. Esses devem ser formados pelos tomadores de decisão das áreas envolvidas na implantação, geralmente diretores e gerentes²⁰. Um treinamento especial sobre os objetivos e vantagens do CEP para as pessoas que formam estes comitês é necessário para que estes atuem de forma efetiva. A realização de etapas de verificação e reflexão da implantação do CEP, isto é a avaliação do progresso, é importante para se definir contramedidas gerenciais para que os objetivos e metas planejadas sejam atingidas. Neste sentido, deve-se evitar controlar apenas indicadores quantitativos, tais como quantidade de cartas de controle implantadas ou quantidade de processos em que o CEP está sendo aplicado. Como a aplicação do CEP é também uma etapa de validação e consolidação da ferramenta, é importante que um dos itens de avaliação seja a medição da redução da variabilidade. Desta forma, é importante que este comitê verifique diretamente quanto e como a variabilidade está sendo reduzida. Esse comitê, eventualmente, poderia determinar a execução de auditorias para verificação da implantação nos locais de trabalho. Em muitas situações essas avaliações, quando realizadas por pessoal capacitado, pode fornecer um rico volume de informações que, possivelmente, pode levar a redirecionamento de rotas.

Apesar dessas estruturas serem temporárias, é importante ressaltar que elas parecem ser necessárias até que o CEP se torne parte inerente do sistema da empresa (NADLER, 1994, p. 127). O CEP não deve ser considerado como implantado e não deve ser delegado definitivamente aos órgãos de produção até que seus procedimentos façam parte da rotina da organização. Isto requer um certo tempo, podendo este variar de empresa para empresa, dependendo fundamentalmente dos itens integrantes do planejamento para implantação do CEP (objetivos, metas, recursos, prioridades, etc.) e da capacidade de aprendizado da organização.

c - Comportamento da Administração

Seguramente a Administração da Organização, formada geralmente por diretores, gerentes e chefes promovem ou interrompem a implantação do CEP. A razão é simples: a implantação do CEP é uma tarefa que não pode ser delegada pela Administração, isto é, esta responsabilidade não deve ser dada ou atribuída aos que têm menos poder, autoridade ou influência dentro da estrutura organizacional. A promoção ou interrupção da implantação basicamente depende de como são conduzidos os seguintes itens:

²⁰ A denominação "diretores e gerentes" utilizada neste trabalho é a mais comumente utilizada no meio industrial. Eventualmente podem ser encontradas variantes em função da arquitetura organizacional de cada instituição.

- **Liderança:** a Administração deve liderar para promover as mudanças organizacionais e culturais exigidas para a implantação do CEP.
- **Participação:** os administradores devem participar ativamente das atividades específicas sob sua responsabilidade durante a implantação. A participação nos comitês de avaliação e o acompanhamento das pessoas sob sua subordinação que estão alocadas no projeto de implantação constituem as principais atividades.
- **Ambiente:** a criação de um ambiente propício a implantação é também responsabilidade da Administração. Neste sentido, os administradores devem estimular, apoiar e permitir que as pessoas que participam da implantação assumam a responsabilidade pela redução da variabilidade. Para propiciar este ambiente é importante que a Administração estabeleça objetivos claros, crie um clima de trabalho em equipe, defina os padrões de desempenho desejados, estimule a comunicação transparente e forneça o *feedback* necessário às pessoas que participam da implantação.

d - Treinamento

Este deve ser realizado para diferentes níveis hierárquicos e a profundidade dos mesmos deve variar de acordo com estes níveis. Para a alta administração e gerência é recomendável um treinamento mais conceitual, em que sejam ressaltados a importância do CEP, seus benefícios, vantagens, bem como o papel de cada uma destas funções hierárquicas na rotina do CEP. Para os engenheiros e técnicos um treinamento mais aprofundado em técnicas estatísticas é recomendável. Para estas funções é importante que as técnicas estatísticas sejam consideradas como ferramentas que permitam a redução sistemática de causas comuns, promovendo a melhoria da variabilidade dos processos. Um ponto importante a ser ressaltado é que o aprendizado de estatística é paulatino, podendo muitas vezes demorar um longo tempo. Para os operadores é importante um treinamento mais simplificado, que englobe principalmente as técnicas estatísticas básicas, tais como cartas de controle e também algumas ferramentas de investigação de causas especiais tais como o diagrama causa-efeito (CAMPOS, 1994b, p. 50-52).

Algumas diretrizes gerais são importantes para a condução dos treinamentos:

Direção top-down: é recomendável que o treinamento seja ministrado primeiramente à administração da organização, de modo que a estrutura de poder da organização o assimile totalmente e nenhum funcionário seja treinado antes de seu líder.

Ligação com o programa de implantação: o treinamento não deve ser realizado só por ser realizado. Quando isto acontece representa um desperdício de tempo e dinheiro. Verificou-se que uma das empresas visitadas treinou cerca de 600 operadores em CEP, independentemente se estes iriam ou não utilizar a ferramenta. Para se evitar desperdícios o treinamento deve ser uma etapa integrante do programa de implantação do CEP.

On the Job Training: também conhecido como treinamento no posto de trabalho deve ser uma das características principais dos treinamentos, principalmente aqueles ministrados aos engenheiros, técnicos e operadores. A prática imediatamente posterior ao treinamento teórico favorece a fixação dos conteúdos.

Avaliação: os treinamentos devem ser eficientemente avaliados para todos os níveis hierárquicos. Uma avaliação poderia verificar, por exemplo, o não entendimento dos reais objetivos e vantagens do CEP por parte da alta administração e gerência, fato este que pode comprometer o futuro do CEP na organização. Apesar de poucos aplicados, testes teóricos e práticos são boas ferramentas de avaliação.

e - Comunicação

Um outro aspecto que deve ser levado em consideração no planejamento da implantação do CEP é a comunicação. Esta é uma das componentes mais importantes em qualquer processo de mudança organizacional. Neste sentido, as comunicações devem ser intensivas e sistemáticas, devendo atingir todos os níveis hierárquicos. As principais diretrizes para o processo de comunicação do projeto de implantação são:

- Expectativas: deve ser evitada a criação de expectativas.
- Abordagem crítica: deve-se evitar a linguagem exagerada e vazia (NADLER et al., 1994, P. 127). A linguagem deve ser quantitativa. Deve-se mostrar o que está acontecendo durante a implantação, as dificuldades e vantagens obtidas.
- Ênfase nos resultados: as comunicações devem ser centradas nos resultados obtidos. A organização deve mostrar para os diversos níveis hierárquicos exemplos de reduções de variabilidade que estão sendo obtidas com a implantação do CEP.

Existem vários métodos e mídias para se promover a comunicação. Alguns exemplos são:

- Seminários internos: são eventos em que os funcionários podem expor seus resultados. Estes seminários são também uma oportunidade para os funcionários manifestarem suas preocupações, percepções e sugestões.
- Jornais internos: as empresas podem disponibilizar espaços nos jornais de circulação interna para que os resultados sejam divulgados. Muitas empresas já possuem este veículo de comunicação.
- Eventos externos: estimular as pessoas a exporem seus trabalhos em eventos externos, tais como, seminários e congressos, é também uma boa oportunidade de divulgação dos resultados.
- Comunicação a sociedade e acionistas: divulgar a importância e participação do CEP nos resultados da empresa é uma forma de demonstrar o compromisso da alta administração com a implantação da ferramenta. A General Electric Mundial no relatório anual aos acionistas e empregados de 1997, assinado pelos quatro *chairmans* e *executive officers*, dedicou aproximadamente dois terços do documento a divulgar a importância das técnicas estatísticas no atingimento dos resultados da organização (WALL STREET JOURNAL, 1998).

5.2. - Metodologia estatística de avaliação para a implantação

Para implantar o CEP não basta “colocar” diretamente uma carta de controle em um posto de trabalho ou na máquina e ir acompanhando o monitoramento do processo via o recurso estatístico selecionado. Uma série de requisitos estatísticos relacionados a estabilidade, capacidade e características intrínsecas do próprio processo devem ser analisados. Portanto, uma série de etapas de análise de dados devem ser cumpridas para que se possa verificar a real viabilidade de se implantar o CEP. A esta seqüência de passos ou etapas está se denominando “metodologia estatística de avaliação para a implantação”.

Muitas empresas, incluindo as que foram citadas neste trabalho, seguem uma metodologia básica constituída dos seguintes passos:

- Avaliação do sistema de medição
- Avaliação da máquina
- Avaliação da estabilidade e capacidade do processo

Em nenhum livro, artigo ou manual consultado para realização deste trabalho foi encontrado qualquer referência a esta metodologia padrão utilizada pelas empresas. A princípio, esta demonstra ser um procedimento prático, desenvolvido por uma empresa, sendo posteriormente difundido para tantas outras, embora não se tenha fatos ou dados para se confirmar esta hipótese.

Este procedimento prático utilizado por algumas empresas também constitui a base desta parte do trabalho, tendo sido complementado por outros passos considerados fundamentais para implantação do CEP. Os passos que compõem esta “metodologia estatística de avaliação para a implantação” serão apresentados e justificados, um a um, nos itens que compõem esta parte do presente capítulo. De forma resumida as etapas que compõem esta metodologia são:

- Elaboração do mapa de processo
- Padronização das tarefas operacionais
- Análise qualitativa dos dados e organização das amostras:
 - Avaliação dos sistemas de medição
 - Padronização dos métodos de coletas de dados
 - Formação de subgrupos racionais
- Avaliação da estabilidade do processo
- Avaliação da capacidade do processo
- Seleção do recurso estatístico para o controle do processo
- Determinação do tamanho e freqüência de amostragem

5.2.1 - Elaboração do mapa de processo: entendendo as fontes de variação

O conceito estatístico de variação é o ponto de partida da metodologia. Conforme descrito no capítulo 2, um processo é constituído de causas e efeitos, e suas causas podem ser agrupadas em fatores de manufatura, comumente denominados 6M's, a saber:

- Método
- Mão-de-obra
- Máquina
- Meio de medição
- Meio ambiente
- Matéria-prima (ou insumos)

A variação total em um processo de fabricação pode ser considerada como a resultante das variabilidades individuais de cada um destes fatores de manufatura²¹. Logo:

$$\sigma^2_{total} = \sigma^2_{met} + \sigma^2_{mo} + \sigma^2_{maq} + \sigma^2_{sm} + \sigma^2_{mamb} + \sigma^2_{matp} \text{ onde}$$

σ^2_{total} = variância total do processo

σ^2_{met} = variância devida ao método de trabalho

σ^2_{mo} = variância devida a mão-de-obra

σ^2_{sm} = variância devida ao sistema de medição

σ^2_{mamb} = variância devida ao meio ambiente

σ^2_{matp} = variância devida a matéria-prima ou insumos

Cada um desses fatores é constituído por variáveis controláveis e incontroláveis²². Estas variáveis, em intensidades diferentes, acarretam tanto variações decorrentes de causas comuns quanto de causas especiais. Conhecer estas variáveis é fundamental para a implantação do CEP, pois permite que sejam tomadas ações, de forma preventiva, visando a redução da influência das fontes de variação antes da implantação do CEP. Estas ações basicamente se concentram na padronização dos métodos operacionais, tanto os de operação, quanto os de preparação e manutenção de máquina, como será visto no item “**padronização das tarefas operacionais**”. O motivo é simples: quando se inicia a aplicação de cartas de controle nos processos verifica-se que estas, geralmente, estão completamente fora de controle, acarretando um relativo grau de dificuldade de interpretação das mesmas. Este comportamento não aleatório é devido a presença de causas especiais relacionadas aos diversos fatores de manufatura. Decorre daí que não raramente o resultado é o menosprezo do potencial gerencial das cartas de controle por não

²¹ Expressão válida se os fatores forem independentes.

²² Ver o conceito de variáveis controláveis ou incontroláveis no capítulo 2.

se conseguir eliminar estas causas especiais no início da implantação, isto porque a condição *sine-qua-non* para a prática efetiva do CEP é que o processo esteja sob estado de controle estatístico.

Além de permitir a tomada de ações preventivas visando a estabilização do processo o conhecimento das variáveis que afetam o processo também é importante para:

- A determinação do sistema de ações corretivas que será utilizado no gerenciamento do processo. Como será visto na última parte deste capítulo, um adequado sistema de ações corretivas para o processo deve prever quais são as ações a serem executadas quando as cartas de controle indicarem que o processo está fora de controle estatístico e, para o projeto deste sistema é necessário o conhecimento das variáveis que afetam o processo.
- O planejamento das avaliações da capacidade de máquina e do processo.

Logo, o primeiro passo da metodologia é denominado “mapeamento das fontes de variação do processo”. Para se realizar esta etapa é necessário um conhecimento profundo do processo e um planejamento adequado da coleta de dados. “**Mapa de processo**” é a ferramenta que auxilia a identificar todas as fontes de variação no processo (WERKEMA, 1998, cap. 4). Mapa de processo é o desenho do fluxograma do processo com a identificação de todas as variáveis que influenciam um determinado característico de qualidade do produto final “Y”. Estas variáveis podem ser do produto em processo “y” ou do processo “x”. Matematicamente pode-se escrever:

$$Y = f(y_1, y_2, \dots, x_1, x_2, \dots) .$$

Em geral, as variáveis x’s são ainda classificadas em:

- tarefas críticas: são as variáveis relacionadas as tarefas operacionais²³. O método de identificação das tarefas críticas no mapa de processo será demonstrado no item “padronização das tarefas operacionais”.
- parâmetros do processo: são as especificações de processo.
- variáveis ruído: são aquelas em que não se tem controle, mas que também afetam o característico “Y”. Para alguns tipos de processos são exemplos comuns o ruído, a umidade, a ventilação, dentre outros.

A seguir é apresentado um exemplo de mapa de processo elaborado para um processo de montagem de uma bobina auxiliar de um motor elétrico. O característico de qualidade em questão, “Y”, é denominado “fio na trajetória do rotor”. Esse é um característico que pode ser controlado por uma carta de atributos “p”.

²³ Por tarefas operacionais entendem-se aquelas em que ocorre a intervenção humana sobre o processo. Exemplos: operação das máquinas, preparação e ajustes de máquinas, correção de parâmetros de máquinas, etc.

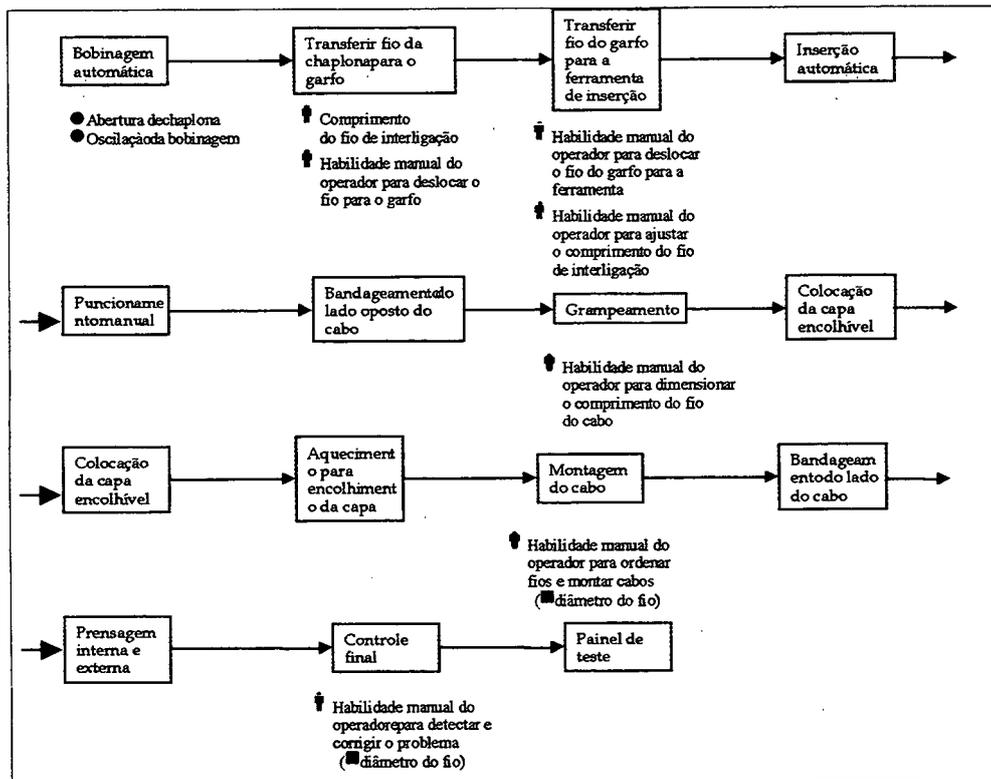


Figura 17 - Mapa de processo

O mapa de processo anterior é relativo a algumas etapas do processo de fabricação de motores elétricos para compressores de refrigeração. Como pode ser observado apenas um característico do produto em processo “y” é importante: o diâmetro do fio. As demais variáveis são tarefas críticas operacionais que afetam o característico de qualidade “Y” em questão: fio na trajetória do rotor.

Como já dito, as informações contidas no mapa de processo são fundamentais para o planejamento e execução das demais etapas dessa metodologia. No entanto, a elaboração desse mapa não implica no conhecimento de todas as variáveis relacionadas a causas especiais. Na prática, o domínio completo²⁴ das variáveis que geram estas causas especiais advém da própria prática do CEP que proporciona o conhecimento e aprendizado continuado sobre o processo. Assim, no início da aplicação das cartas de controle é de se esperar que algumas causas especiais tenham suas fontes de variação ainda desconhecidas.

²⁴ A palavra “completo” está sendo utilizada de forma restrita, pois a cada dia novos fatores passam a atuar sobre um processo qualquer, sendo considerado como pontual o domínio de todas as variáveis que atuam sobre o processo.

5.2.2. - Padronização das Tarefas Operacionais

Conforme visto, o mapa do processo permite também identificar as tarefas operacionais que afetam o característico de qualidade em estudo. Na figura 3 é possível observar que a maioria das variáveis que afetam o característico de qualidade “fio na trajetória do rotor” são relativas a tarefas operacionais. Para se reduzir a influência destas variáveis a **padronização das tarefas operacionais** é uma atividade condicional à efetiva implantação do CEP. Em outras palavras, a mão-de-obra (causa), para a maioria dos processos, exerce grande influência sobre a qualidade do produto (efeito) e a “padronização das tarefas operacionais”, nesta metodologia, é uma ferramenta gerencial utilizada para reduzir a variabilidade deste fator de manufatura antes da prática efetiva do CEP, garantindo a estabilidade do processo em relação a esta variável.

A eficiência da padronização dos métodos operacionais pode ser assim explicada: quanto mais adequados forem os métodos de trabalho e executados da mesma forma por diferentes pessoas menor será a parcela da variabilidade da mão-de-obra na variação total do processo. No entanto, na prática, os métodos de trabalho nem sempre são adequados, e mesmo quando razoavelmente adequados, apresentam diferenças quando executados por diferentes pessoas na mesma máquina ou posto de trabalho. Estas diferenças podem ocorrer em diferentes turnos de trabalho, ou até mesmo dentro do mesmo turno quando é praticada a rotatividade de pessoas em diferentes postos de trabalho. O fato é que os métodos não adequados ou diferenças entre os mesmos são os fatores responsáveis pelas variações no processo devidas a causas especiais, representada por falhas operacionais. Assim, a aplicação da “padronização das tarefas operacionais” têm como objetivo básico a confecção dos procedimentos relativos as tarefas operacionais, garantindo a repetibilidade de sua prática, e reduzindo de forma significativa a variação da mão-de-obra na variação total do processo. Em outras palavras, a padronização é uma atividade essencial quando a intenção é garantir repetibilidade e consistência nos resultados.

O gráfico a seguir procura ilustrar o papel da padronização na estabilização de um nível de melhoria alcançado e na variabilidade dos processos:

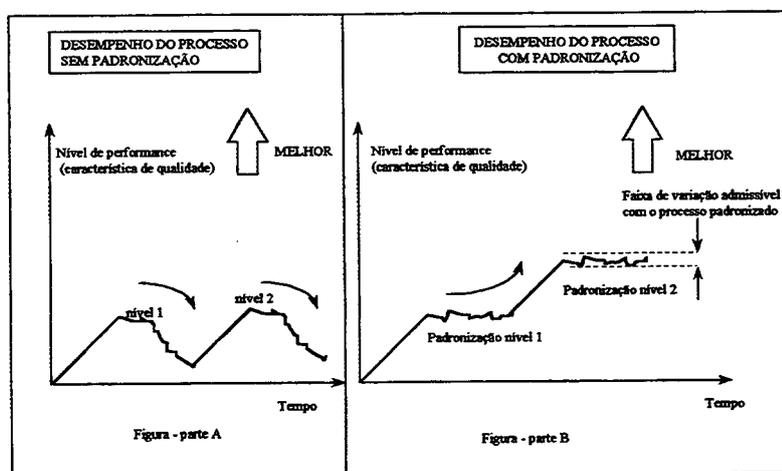


Figura 18 – Importância da padronização das tarefas operacionais

Além de favorecer a estabilização do processos a padronização também permite que:

- os melhores métodos de trabalho sejam efetivados, sendo isto de extrema importância para empresas que possuem processos similares e adotam mais que um turno de trabalho.
- a memória tecnológica da empresa seja registrada, diminuindo a dependência da empresa em relação as práticas incorporadas ao processo e não registradas, agilizando também o treinamento de novos funcionários.

Uma metodologia geral de implantação da padronização das tarefas operacionais é descrita por Falconi. (CAMPOS, 1994, p.31-40. Resumidamente esta atividade consiste em:

- descrever os métodos de trabalho para as tarefas críticas, isto é, elaborar os “Procedimentos Operacionais Padrão (P.O . P.);
- treinar a mão-de-obra nos P.O .P;
- revisar continuamente os padrões incorporando nos mesmos novos métodos de trabalhos.

Em se tratando de atividade precedente à implantação de cartas de controle, a “padronização das tarefas operacionais” pode ser realizada para as tarefas que podem afetar a característica de qualidade selecionada para ser controlada via CEP. Estas são ditas as tarefas críticas. A identificação das tarefas críticas no mapa de processo e conseqüente padronização das mesmas pode ser realizada da seguinte forma:

- ✓ **Identificação das tarefas operacionais** : o mapa de processo é representado por uma seqüência de operações. Para cada operação descreva quais são as tarefas realizadas²⁵. É muito importante que o fluxograma represente a situação real e não aquela que deveria ser.
- ✓ **Identificação das tarefas críticas**: para cada tarefa analise a sua influência no característico de qualidade. Tarefas críticas serão aquelas que se ocorrer um pequeno erro afetará fortemente o característico de qualidade. Se possível deve-se procurar utilizar dados para comprovar as hipóteses.
- ✓ **Confeção dos POP’s (Procedimentos Operacionais Padrão)**: para cada tarefa crítica identificada devem ser confeccionados POP’s. Estes são procedimentos que descrevem como a operação deve ser realizada. O POP deve ser confeccionado de forma participativa, incorporando as melhores práticas de cada operador nos diversos turnos de trabalho. Em geral as principais características de um adequado POP são: simplicidade, prático, fruto de consenso e fácil de ser compreendido e obedecido pelo usuário. Em geral os POP’s devem conter as seguintes informações:

²⁵ A descrição das tarefas operacionais de cada operação não deve ser realizada no mapa de processo. No mapa de processo só serão descritas as tarefas críticas.

- Nome da tarefa e responsáveis
 - Materiais necessários para executar a tarefa
 - Atividades críticas: são aquelas que devem ser executadas para que a tarefa tenha bom resultado. Só se deve padronizar as atividades que realmente afetam o resultado final da tarefa, portanto, deve-se escrever pouco.
 - Cuidados especiais
 - Características e parâmetros de controle da tarefa.
 - Resultados esperados da tarefa
 - Ações corretivas em caso de anormalidade.
- ✓ **Treinamento da mão-de-obra:** toda a mão-de-obra que atua no processo deve ser treinada. Uma atenção especial deve ser dispensada a operadores novos: deve ser garantido que estes apenas atuem nos processos após conhecerem os POP's das tarefas críticas.
- ✓ **Revisão contínua do POP:** deve ser garantida a revisão contínua dos POP's das tarefas críticas. A revisão destes procedimentos deve ser principalmente intensificada a medida que o CEO for sendo praticado e causas comuns e especiais forem sendo descobertas.

É importante ressaltar que não apenas as tarefas relacionadas diretamente com a operação do processo devem ser padronizadas. Tarefas de troca de tipo, ajuste e manutenção de máquina afetam diretamente as características de qualidade selecionadas e devem ser também padronizadas.

Mesmo que a empresa já tenha um bom sistema de padronização é importante questionar se todas as tarefas que afetam os característicos de qualidade selecionados estão realmente padronizadas.

5.2.3 – Diretrizes para a análise qualitativa dos dados e planejamento (organização) das amostras

A análise qualitativa dos dados refere-se a análise crítica dos dados utilizados para avaliação da estabilidade e da capacidade e para o gerenciamento efetivo do processo. Gerenciar um processo estatisticamente é antes de tudo um gerenciamento de dados, e para que este seja efetivo é necessário avaliar a consistência dos mesmos. Conclusões erradas podem ser obtidas se os dados não forem confiáveis ou se não tiverem sido organizados da forma correta. Os dados devem ser analisados sob um enfoque crítico, e se existirem evidências de que os mesmos não são confiáveis ou que estão organizados de forma não adequada, o estudo de viabilidade da implantação do CEP deve ser interrompido até que as mesmas sejam resolvidas.

Enquanto a confiança dos dados depende basicamente do sistema de medição e do método de coleta de dados, a organização dos mesmos depende da formação dos subgrupos racionais. Cada uma dessas partes será melhor detalhada nos tópicos seguintes.

5.2.3.a - Avaliação do sistema de medição

Os sistemas de medição são constituídos pelo instrumento ou equipamento de medição e pela pessoa que o utiliza. Logo uma avaliação de sistemas de medição deve considerar ambos os fatores. A seguir serão apresentados os principais aspectos relacionados a esta avaliação.

Avaliação da capacidade de sistemas de medição

O primeiro item a ser avaliado no sistema de medição é a incerteza ou acurácia do mesmo. A incerteza quantifica a proximidade existente entre o valor real da característica medida e os resultados fornecidos pelo sistema de medição. A mesma é resultado da variabilidade inerente ao sistema de medição.

As medições também constituem processos que estão sujeitos a diversas fontes de variação.

Werkema (1996, p.10) relaciona um processo de medição com suas atividades e suas principais fontes de variação:

Tabela 2 - Fontes de variação que afetam um sistema de medição

Atividade	Fontes de variação envolvidas no processo de medição
Retirar uma peça da população	Diferença entre peças devido a amostragem
Preparar a peça para medição	Métodos de preparação Materiais de preparação
Calibrar o sistema de medição	Método de calibração Mudanças nas condições ambientais Medidor de referência
Colocar a peça no medidor	Método de colocação da peça
Medir a característica de interesse	Leitura do medidor Capacidade do medidor Desvio da calibração Mudanças nas condições ambientais

Assumir a existência de variabilidade em um sistema de medição permite afirmar que a variabilidade total contida em um conjunto de dados fornecidos por um sistema de medição qualquer pode ser dividida em duas parcelas: uma primeira é a variabilidade inerente ao processo produtivo. A outra, a inerente ao próprio sistema de medição. Logo, conforme definido no “item 5.2.1 – Elaboração do mapa de processo: entendendo as fontes de variação”:

$$\text{Se } \sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{met}} + \sigma^2_{\text{mo}} + \sigma^2_{\text{maq}} + \sigma^2_{\text{sm}} + \sigma^2_{\text{mamb}} + \sigma^2_{\text{matp}}$$

Onde:

σ^2_{total} = variância total do processo

σ^2_{met} = variância devida ao método de trabalho

σ^2_{mo} = variância devida a mão-de-obra

σ^2_{sm} = variância devida ao sistema de medição

σ^2_{mamb} = variância devida ao meio ambiente

σ^2_{matp} = variância devida a matéria-prima ou insumos

$$\text{E } \sigma^2_{\text{processo}} = \sigma^2_{\text{met}} + \sigma^2_{\text{mo}} + \sigma^2_{\text{maq}} + \sigma^2_{\text{mamb}} + \sigma^2_{\text{matp}}$$

Então:

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{processo}} + \sigma^2_{\text{sm}}, \text{ onde}$$

$\sigma^2_{\text{processo}}$ = parcela da variância total devida ao processo produtivo

σ^2_{sm} = parcela da variância total devida ao sistema de medição

A vantagem desta abordagem é a possibilidade de se separar estas duas parcelas e ser possível a quantificação da variabilidade de cada uma delas. A quantificação da variabilidade da segunda parcela é denominada avaliação da capacidade de sistemas de medição. Portanto, um sistema de medição fornecerá dados confiáveis se o resultado da análise de quantificação da sua variabilidade se enquadrar dentro de limites toleráveis. Estes estudos de levantamento da incerteza do sistema de medição são comumente denominados **estudos de avaliação da capacidade de sistemas de medição**. Estas avaliações devem ser realizadas tanto para sistemas de medição de características por variáveis quanto por atributos. Werkema (1996, p. 9-84) apresenta 2 métodos de avaliações. Um primeiro para características por variáveis, em que cartas de controle X-R são utilizadas como ferramentas de análise. Um segundo é direcionado a avaliação de sistemas de medição de características por atributos.

Eventualmente pode-se decidir por outro método de avaliação da capacidade do sistema de medição. A literatura é farta em exemplos. No entanto, o importante é que esta etapa não pode ser ignorada. As palavras de Werkema (1996, p.11) resumem a importância destas avaliações:

“...é totalmente inapropriado assumir como verdadeiro o fato de que os processos de medição utilizados pela empresa fornecem dados confiáveis (com erro tolerável), sem que antes tenha sido realizado um estudo para a quantificação das fontes de variação (incerteza) associadas a medição...”

Logo, a utilização de dados históricos para se avaliar a estabilidade e capacidade de processos não é uma prática recomendada quando não se conhece a incerteza do sistema de medição que gerou os dados para tal.

Calibração

Além de se conhecer a capacidade dos sistemas de medição utilizados para medir os dados do processo é importante garantir que estes estejam calibrados. De acordo com a Norma ISO 10012-1, calibração é a “operação que tem por objetivo levar o instrumento de medição a uma condição de desempenho e ausência de erros sistemáticos, adequados ao seu uso (WERKEMA, 1996, p. 10-11). Em outras palavras, significa ajustar o sistema de medição para o valor mais próximo do valor apresentado por um padrão de referência de forma a corrigir os erros sistemáticos levantados.

Resolução

Resolução é a menor variação da grandeza a medir que pode ser indicada/registrada pelo sistema de medição (LABMETRO, 1988, p. 2.17). A resolução do sistema de medição utilizado para se coletar os dados deve ser proporcional as melhorias que se desejam obter no processo. Se a variação do processo que se deseja medir for menor que a resolução, o sistema de medição não conseguirá detectar as variações decorrentes das melhorias obtidas em função da redução da variabilidade do processo.

Tempo de resposta

Um último aspecto relacionado a avaliação de sistemas de medição refere-se ao tempo de resposta. Para que se possa praticar o CEP eficazmente é essencial que o sistema forneça dados dentro de tempos adequados para a tomada de decisão.

5.2.3.b - Métodos de coleta de dados

Os métodos de coleta de dados devem evitar que dados falsos ou errados levem a conclusões também erradas sobre os processos. Ishikawa (1986, p. 106-108) conceitua os dados falsos e errados da seguinte forma:

- **Dados falsos:** são aqueles que são adulterados ou manipulados de forma a esconder a realidade.
- **Dados errados:** são os dados incompletos e parciais que não permitem a tomada de decisão.

Os dados errados podem ser evitados através da utilização de um sistema de medição com capacidade adequada (ver item 5.2.3.a), através da condução de um adequado planejamento da coleta de dados com a formação de subgrupos racionais (ver

item 5.2.3.c) e também através e um efetivo treinamento em coleta de dados para as pessoas que utilizarão as cartas de controle. No entanto, os dados falsos são muitas vezes decorrentes do ambiente, cultura e valores da organização e também do conhecimento técnico e gerencial sobre estatística. Logo, os dados falsos são mais complexos de serem eliminados que os errados, em função da própria natureza das origens dos dados falsos. Algumas vezes ações simples podem evitar a ocorrência dos mesmos, outras vezes não.

Ishikawa atribui a criação de dados falsos a postura negativa dos elementos na posição hierárquica superior. Muitas vezes as pessoas são repreendidas por demonstrarem a verdade. Logo, as pessoas tendem a adulterar os dados como um processo natural de autodefesa. Neste contexto o CEP evidentemente não poderá ser uma ferramenta gerencial a ser aplicada com sucesso, e esta metodologia de implantação do CEP nada tem a sugerir como contramedida. No entanto, outras vezes ações simples podem evitar a ocorrência de dados falsos. Exemplos:

- A falta de conhecimento do conceito de variação podem levar os líderes de produção a repreender as pessoas quando da ocorrência de defeitos, pois não entendem que mesmos que os operadores executem corretamente suas tarefas segundo os procedimentos de trabalho é natural existir uma variação no processo. Como contramedida é necessário o treinamento gerencial sobre variação, conforme sugerido no item 5.1.5 deste capítulo.
- A falta de apoio técnico aos operadores para eliminação das causas especiais quando estas ultrapassam o conhecimento técnico dos mesmos pode levar a falsificação de dados. Muitas vezes os operadores preferem manter os pontos dentro dos limites de controle a serem cobrados por ações corretivas que não conseguem definir e implantar. Portanto, a estruturação de um apoio técnico adequado durante a prática do CEP é fundamental, conforme também sugerido no item 5.1.5.

É importante que as pessoas responsáveis pela implantação do CEP realizem uma análise da possibilidade de ocorrência de dados falsos e da viabilidade de eliminação dos mesmos, quando existirem. É fundamental para a prática efetiva do CEP que atitudes que levem a ocorrência de dados falsos sejam eliminadas.

5.2.3.c - Subgrupos racionais

A formação de subgrupos racionais refere-se a organização das amostras para coleta de dados. Estes é um dos conceitos fundamentais que deve ser inevitavelmente praticado para que os dados plotados nos recursos estatísticos, em geral cartas de controle, forneçam informações apropriadas acerca do processo que está sendo avaliado ou gerenciado estatisticamente. Ignorar a formação adequada de subgrupos racionais é desperdiçar o potencial das cartas de controle. Kume (1993, p.115) destaca que:

“a formação de subgrupos racionais é a parte mais importante na preparação de cartas de controle e determina seu desempenho. Uma formação inadequada leva a um gráfico inaproveitável”

Subgrupos são amostras tão homogêneas quanto possível em que as variações provocadas por causas especiais, se estiverem presentes, deverão aparecer entre os

subgrupos e não dentro dos mesmos. Dentro dos subgrupos apenas a variabilidade resultante das causas comuns deve aparecer.

Por exemplo, se um processo é constituído de várias máquinas semelhantes que desempenham a mesma função, deve-se planejar a coleta de dados de forma que sejam retiradas amostras individuais para cada máquina, em lugar de se retirar amostras que envolvam a produção de todas as máquinas em conjunto. Desta forma, a variação decorrente das diferenças entre máquinas tornar-se-ia viável de ser detectada. Poderíamos estender o exemplo substituindo máquinas por operadores. Assim seria prudente extrair amostras para os diferentes operadores ao invés de coletar uma amostra que incluía a produção de todas as pessoas em conjunto. O exemplo poderia ainda ser estendido para máquinas que possuem diversas cavidades, tais como injetoras, máquinas que possuem diversos lados, tais como *transfers* de usinagem, entre outros processos.

Um aspecto importante a ser levado em consideração na formação de subgrupos em processos produtivos é a ordem cronológica da produção, pois ela pode favorecer a detecção de causas especiais que ocorrem ao longo do tempo. (WERKEMA, 1995, p. 224). No entanto, mesmo que se obedeça a ordem cronológica um cuidado extra deve ser tomado quando se trabalha com diferentes turnos de trabalho: em uma mesma amostra não se deve misturar dados coletados em diferentes turnos, pois se isto ocorrer é um caso de mistura de subgrupos racionais. Isto é mais possível de ocorrer nos horários próximos as trocas de turnos de trabalho.

É importante ressaltar dois outros aspectos relacionados aos métodos de formação de subgrupos:

- Uma mudança na forma de se organizar os subgrupos racionais ocasionará também uma mudança nos fatores que constituem a variabilidade dentro do subgrupo;
- Existem várias formas de se organizar os subgrupos, podendo-se variar seu tamanho e a combinação de dados até se chegar a formação ideal.

Quanto a coleta de dados para formação do subgrupo Werkema (1995b, p. 224-225) destaca dois métodos básicos. Num primeiro cada amostra consiste de dados relativos a peças ou produtos que foram produzidos seqüencialmente em instantes de tempo os mais próximos possíveis. Um segundo método considera dados que representem todo o período de tempo desde que a última amostra foi retirada. Ambas as abordagens apresentam vantagens e desvantagens, a saber:

Abordagem 1: retirar dados relativos as peças produzidas seqüencialmente

Vantagens:

- Minimiza a possibilidade da presença de variabilidade devido a causas especiais dentro da amostra, maximizando a detecção de causas especiais entre amostras
- Procedimento mais prático de ser executado

Desvantagem:

- Pode não permitir a detecção de causas especiais se as variações ocorrerem entre amostras coletadas (este efeito pode ser minimizado pela redução do tamanho da amostra com conseqüente aumento da frequência de retirada da amostra)

Abordagem 2: retirar dados relativos as peças produzidas desde que a última amostra foi retirada

Vantagem:

- Pode significar uma maior representatividade do processo

Desvantagem:

- Dificulta a interpretação da carta se a média do processo mudar entre vários níveis no período entre duas amostragens consecutivas. Isto pode levar a uma dispersão relativamente grande o que invariavelmente agrega limites de controle mais abertos para as cartas \bar{X} , por exemplo. Pontos fora dos limites nas cartas R ou S também podem ser obtidos apesar de não ocorrer variações significativas na dispersão do processo.

Enquanto a primeira abordagem é mais indicada quando o objetivo é a detecção de mudanças ocorridas no processo, a segunda é empregada na tomada de decisão sobre a qualidade de peças produzidas no período entre amostras coletadas, isto é, quando cartas de controle são utilizadas como mecanismos de inspeção. Logo, a adoção de um ou outro método depende dos objetivos do CEP e das características intrínsecas de cada processo. Como a proposta que se apresenta de implantação do CEP refere-se à ferramenta como um meio de detecção de mudanças no processo, sugere-se a aplicação da primeira abordagem. Matheson (1996, p. 19-27) demonstrou estatisticamente que a retirada de peças produzidas consecutivamente é melhor economicamente para a detecção de mudanças no processo.

Muitas vezes, em situações práticas, a grande dificuldade em se analisar as ditas cartas de controle decorre da formação inadequada de subgrupos. Os procedimentos utilizados pelas empresas visitadas para implantação do CEP não contemplam a formação de subgrupos. No entanto, um gráfico de controle não pode ser utilizado efetivamente sem que se conheçam os componentes de variação dentro do subgrupo. Em outras palavras, no planejamento de amostras para cartas de controle as possíveis fontes de variação devem ser conhecidas.

5.2.4- Avaliação da estabilidade do processo

Avaliar a estabilidade de um processo é analisar o comportamento estatístico do processo ao longo de um determinado tempo. Para tanto, os instrumentos básicos utilizados são as cartas de controle. Para análise destas cartas são utilizados padrões de referência, tais como seqüências e tendências de pontos.

Um processo estável ou sob controle, conforme definido no capítulo 2, é aquele que apresenta uma variabilidade estatisticamente estável e uniforme, em termos de média e dispersão, ao longo do tempo. Processos sob estado de controle estatístico apresentam apenas causas comuns de variação. Por outro lado, um processo se apresenta fora do estado de controle estatístico quando seu comportamento é expresso por uma variabilidade estatisticamente instável e não uniforme ao longo do tempo, apresentando causas comuns e especiais de variação.

Como será visto ao longo do texto, esta etapa de avaliação da estabilidade não se constitui apenas de uma avaliação que conduz a uma tomada de decisão: processo estável ou não estável. É acima de tudo uma etapa de investigação das fontes de variação relacionadas a causas especiais, procurando torná-lo sob estado de controle estatístico.

Como o processo é constituído por um conjunto de fontes de variação (máquina, sistema de medição, mão-de-obra, matéria-prima, dentre outros), é importante que para a análise sejam levantadas todas as fontes que podem ocasionar variação no processo. Mais uma vez, as informações contidas no Mapa de Processo são de extrema importância para o planejamento e execução desta avaliação. O fluxo geral para avaliação da estabilidade é demonstrado a seguir:

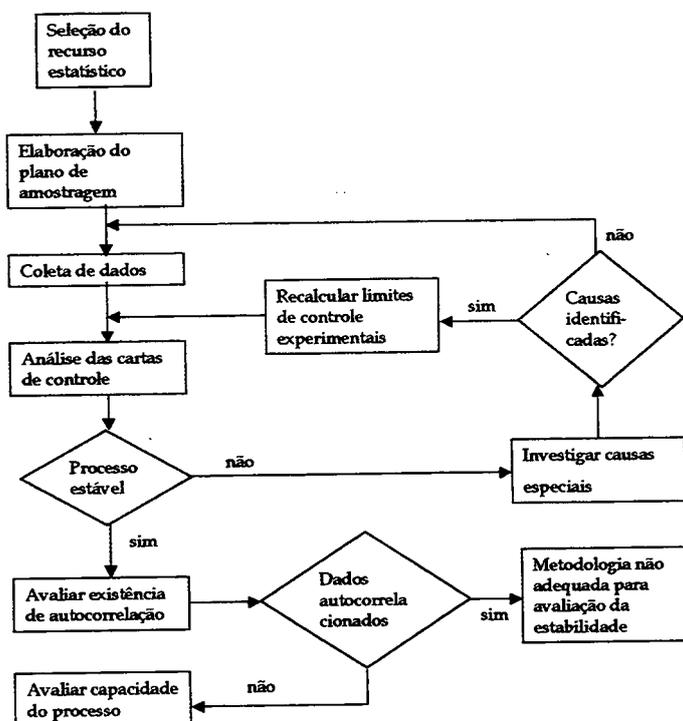


Figura 19 - Procedimento para avaliação da estabilidade de processos

5.2.4.a - Seleção do recurso estatístico

Para seleção do tipo da carta de controle a ser utilizada na avaliação da estabilidade parte-se do princípio que nada se conhece sobre o comportamento do processo, sobre a sua distribuição e sob suas características. Logo, 6 tipos básicos de cartas de controle são recomendadas para a avaliação, a saber:

Característico por variável	Característico por atributo
Carta de controle \bar{X} -AM, se $n = 1$.	Carta p ou np
Carta de controle \bar{X} -R, se $3 \leq n \leq 9$	Carta c
Carta de controle \bar{X} -S, se $n \geq 10$	Carta u

A escolha do tamanho de amostra deve acima de tudo estar condicionada à realidade de cada processo. A princípio podem ser seguidas as seguintes regras para escolha das cartas:

Característicos por variáveis: se o processo é homogêneo, isto é, não é necessário realizar mais do que uma medição por subgrupo (amostra) para se concluir sobre o processo (alguns processos químicos possuem esta característica), ou é economicamente inviável a realização de mais de uma observação por amostra deve-se decidir pela carta X-Am. Para processos que permitem e necessitam de mais de 2 observações por amostra, como regra geral, é melhor se trabalhar com amostragem mais frequentes, mesmo que para operacionalizar esta opção seja necessário reduzir o tamanho da amostra.

Característicos por atributos: o tipo de informação que se deseja obter determina a escolha da carta. Se o objetivo é controlar a proporção de itens defeituosos então utiliza-se a carta “p”. Se se deseja controlar a quantidade de defeitos então se utiliza a carta “c” ou carta “u”.

Informações mais detalhadas sobre os critérios para seleção das cartas de controle são apresentadas no item “5.2.6 – Critérios para seleção das cartas de Shewhart para o controle do processo”.

5.2.4.b - Elaboração do plano de amostragem

As informações contidas no mapa de processo são fundamentais para elaboração do plano de amostragem. Todas as variáveis ou fontes de variação identificadas devem ser consideradas no plano de amostragem.

O plano de amostragem é organizado segundo o conceito da composição dos níveis hierárquicos (WERKEMA, 1998). Os níveis hierárquicos são uma forma de organização das fontes de variação. A formação de níveis hierárquicos segue o princípio da formação de subgrupos racionais, demonstrado no item 5.2.3.c. A principal vantagem da elaboração dos planos de amostragem segundo o princípio de níveis hierárquicos é porque esta abordagem permite que o processo seja estabilizado a medida que as causas especiais forem sendo identificadas, como será visto no item “Análise das cartas de controle”. Para cartas por atributos esta abordagem não é aplicável. No entanto, também para atributos, os planos de amostragem devem seguir o princípio da formação de subgrupos racionais.

Vamos a um exemplo hipotético: suponha que um processo de injeção de alumínio seja composto pelas seguintes fontes de variação:

- Máquina: 1 injetora com 4 cavidades
- Matéria-prima: 2 fornecedores de alumínio
- Mão-de-obra: 3 operadores que executam rodízio de hora em hora
- Meio ambiente: umidade (variável ruído)

Suponha também que o característico de qualidade que representa o processo seja a planicidade da superfície externa da peça injetada. Um plano de amostragem poderia ser:

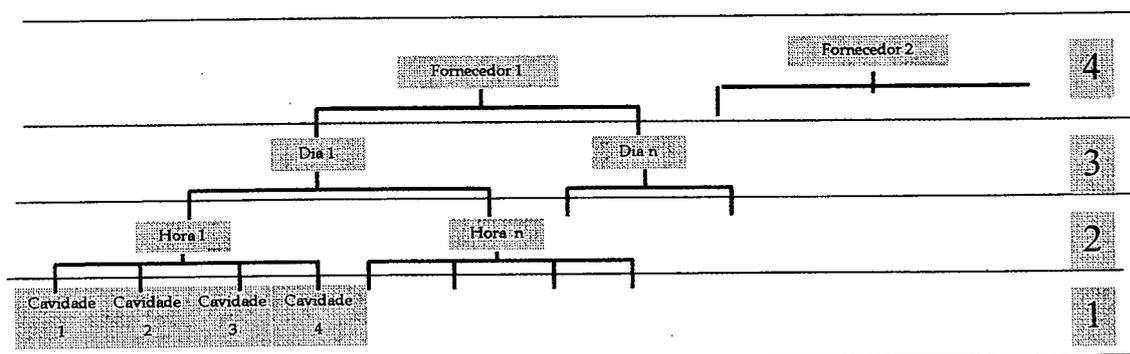


Figura 20 - Exemplo de plano de amostragem

O plano de amostragem exemplificado na figura 6 apresenta 4 níveis hierárquicos. Suponha que o tamanho da amostra seja igual a 5 e que foi selecionada a carta \bar{X} para análise. Os dados devem ser coletados a partir do nível hierárquico inferior. A confecção de cartas de controle também deve começar por estes níveis hierárquicos. O quadro resumo, descrito a seguir, apresenta as principais variações possíveis de ser detectadas em cada nível hierárquico:

Número da carta	Níveis	Tipos de carta	Variações perceptíveis
Carta 1	1 e 2	Carta R - amplitude entre cavidades Carta Xbarra - média das cavidades	Entre de cavidades (ou dentro de horas) Entre horas
Carta 2	3 e 4	Carta R - amplitude entre as médias das horas num mesmo dia Carta Xbarra - médias das horas num mesmo dia	Entre dias Entre fornecedores

5.2.4.c – Período de coleta de dados

Basicamente o período de coleta de dados para avaliação da estabilidade é peculiar para cada processo. Alguns autores sugerem um mínimo de 25 amostras coletadas. Esta regra geral, a princípio, nem sempre é possível de ser estabelecida. De acordo com Fair este procedimento era adequado no passado quando poucas variações de produtos eram produzidos e os processos de fabricação, por consequência, não eram tão complexos (FAIR e WISE, 1998, P. 66-71). Logo, uma abordagem prática indica que 2 princípios determinam o período mínimo necessário para coleta de dados:

- Tempo suficiente para que todas as fontes de variação do processo se manifestem. Logo, o período necessário para coleta de dados será tanto maior quanto maior for o tempo necessário para as fontes de variação se manifestarem.
- Tempo necessário para tornar o processo estável sob o ponto de vista estatístico: como será visto, a etapa de avaliação da estabilidade é também uma etapa de se atuar sobre o processo até que este se torne estável.

Observações finais sobre a coleta de dados

Todos os cuidados especiais para evitar a coleta de dados falsos ou errados, descritos no item 5.2.3.b – Métodos de coletas de dados, devem ser seguidos.

Este período de coleta de dados para avaliação da estabilidade do processo deve servir também como período de preparação das pessoas com o ambiente de controle de processos. Para tanto um treinamento sobre o processo de tomada de ações corretivas deve ser realizado. As causas prováveis, bem como ações tomadas devem ser anotadas, preferencialmente num diário de bordo.

Os dados, inicialmente, devem ser registrados em cartas de controle sem os respectivos limites de controle (afinal, neste ponto, ainda não se conhece o comportamento do processo). Quando necessário deve ser dada atenção especial à identificação de peças: número da estação, dispositivo de fixação, etc. Outras informações consideradas relevantes devem também ser anotadas, preferencialmente num diário de bordo. Estas informações devem abranger as alterações de rotina no processo, tais como mudança de matéria-prima, troca de operador, alteração nas regulagens, ferramentas, etc. As cartas de controle, ditas preliminares, devem ter o *layout* adequado para que estas anotações sejam realizadas. Elas são úteis na análise dos dados.

5.2.4.d - Análise das cartas de controle

Um algoritmo básico para análise de cartas de controle é sugerido por Werkema (1995b, p. 209-212). Basicamente devem ser seguidos os seguintes passos:

1 - Com os dados coletados segundo o Plano de Amostragem devem ser construídos limites de controle experimentais.

2 - Se todos os pontos estiverem dentro dos limites de controle e nenhuma configuração não aleatória²⁶ estiver presente pode-se concluir que o processo está sob estado de controle estatístico. Neste caso os limites de controle experimentais são considerados adequados e pode-se passar a etapa de “Avaliação da capacidade do processo”.

3 - Se existirem pontos fora dos limites de controle e/ou alguma configuração não aleatória estiver presente pode-se concluir que o processo está fora de estado de controle estatístico.

²⁶ Configurações não aleatórias são representadas por seqüências de pontos que caracterizam a presença de causas especiais. Para análise destas configurações não aleatórias devem ser utilizados padrões ou critérios de referência. Alguns destes serão apresentados na seqüência deste trabalho.

Então deve-se para cada ponto fora dos limites, ou para cada sequência de pontos que represente uma combinação não aleatória, investigar as causas especiais responsáveis pelos mesmos. Estes pontos devem, então, ser eliminados da amostragem e novos limites experimentais devem ser calculados. Os pontos não eliminados devem ser plotados nos gráficos novamente e a análise deve ser reiniciada pelo item 2. Este ciclo deve ser realizado até que se conclua que o processo está fora ou sob controle estatístico.

A eliminação dos pontos relativos a causas especiais, em geral conduz a faixas de controle mais estreitas delimitadas pelos limites experimentais, podendo na prática conduzir a uma situação que não represente mais a realidade do processo. Além disso, o número de pontos pode ser reduzido drasticamente, de forma que a análise da estabilidade do processo não seja mais adequada com os pontos que restaram. Neste caso a melhor alternativa é que novos dados sejam coletados.

Na prática, é comum que os processos se encontrem inicialmente fora de controle estatístico. No entanto, tanto a identificação de configurações não aleatórias quanto a identificação das respectivas causas especiais pode ser uma tarefa difícil. Decorre daí que muitas vezes estas causas não são identificadas. A razão é simples: a identificação de padrões não aleatórios bem como a investigação dependem do conhecimento que se tem sobre o processo. E este é um processo interativo, isto é, quanto maior o conhecimento do processo maior a chance de detecção e eliminação de causas, mas também quanto mais se identificam padrões não aleatórios e se investigam as causas especiais, mais se conhece sobre o processo, e maiores são as chances de estabilização do processo. Mas o que fazer quando as causas especiais não são identificadas? Werkema (1995b, p. 209-212) sugere duas alternativas para amenizar esta dificuldade:

1 - que os pontos sejam simplesmente eliminados e novos limites experimentais de controle sejam calculados.

2 - manter os pontos considerando que o processo sob estado de controle, estatístico.

Na realidade as duas alternativas são “perigosas” sob o ponto de vista estatístico. Contudo, se há apenas um ou dois pontos fora dos limites pode ser que a distorção não seja muito significativa. No entanto, a melhor alternativa continua sendo a coleta de novos dados, conforme demonstra o fluxo descrito na figura 18. Note que a avaliação da estabilidade pode durar um longo tempo. Enquanto o processo não se estabiliza os limites experimentais das cartas de controle devem ser continuamente revistos. A decisão final pela implantação da carta de controle somente deve ser realizada após a avaliação da capacidade do processo. Entretanto, não se deve passar para a etapa de avaliação da capacidade até que o processo seja considerado sob o estado de controle estatístico.

É importante ressaltar que é bastante comum que alguns pontos coletados sejam relativos a dados errados porque, em geral, o período relativo à coleta de dados para avaliação da estabilidade seja também um período em que as pessoas estão aprendendo a coletar dados, sendo bastante comum a ocorrência de erros. Deve-se atentar para desconsiderar estes pontos da análise, pois caso contrário pode conduzir a conclusões erradas.

Para o caso de características por variáveis a análise sempre deve ser iniciada com a carta R ou S, isto porque esta exprime a variação dentro da amostra. Se a carta R ou S estiver fora de controle a carta \bar{X} ou carta X não deve ser analisada até que as causas especiais sejam identificadas. Os pontos tanto da carta R ou S, quanto os equivalentes da carta \bar{X} ou carta X devem ser eliminados para que a análise prossiga, seguindo o algoritmo apresentado anteriormente.

Para o exemplo da injetora de alumínio a análise deveria ser realizada da seguinte forma: se a carta R, número 1, apresentar-se fora do estado de controle estatístico é porque existem variações decorrentes de causas especiais entre cavidades. A análise deve ser interrompida até que estas sejam detectadas. Uma vez estas sendo eliminadas a carta \bar{X} , número 1, deve ser analisada. O raciocínio deve ser estendido para análise das demais cartas.

Configurações não aleatórias

Os padrões ou critérios de referência relativos as configurações não aleatórias foram estabelecidos para facilitar a detecção de variações relativas a causas especiais. Estes foram elaborados a partir das propriedades da distribuição normal. Muitos livros de CEP trazem estes padrões descritos, tendo sido os mesmos elaborados a partir de regras estatísticas relativamente simples. Alguns padrões similares dispostos na literatura apresentam pequenas diferenças entre si. Alguns *softwares* comerciais destinados a análise de cartas de controle trazem embutidos a opção de verificação de combinações não aleatórias. Um desses é o MINITAB(1998), fornecido pela Minitab Inc.

Werkema (1995, P. 218-222) apresenta alguns desses padrões:

Pontos fora dos limites de controle

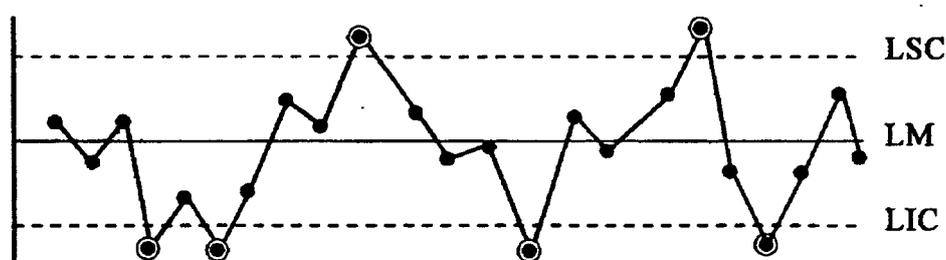


Figura 21 – Pontos fora dos limites de controle, adaptado de (WERKEMA, 1995b, P. 218-222)

Muito provavelmente é a representação mais evidente da falta de controle estatístico de um processo. As causas especiais relacionadas a esta configuração podem estar associadas a dados errados gerados por procedimentos incorretos de coleta de dados e/ou instrumentos descalibrados. Na carta \bar{X} , se o valor de R, utilizado para cálculo dos limites, for muito pequeno, muitos pontos fora podem também ser observados. É muito importante estar atento para este tipo de análise, pois uma distorção na carta R pode levar a conclusões erradas.

Seqüência

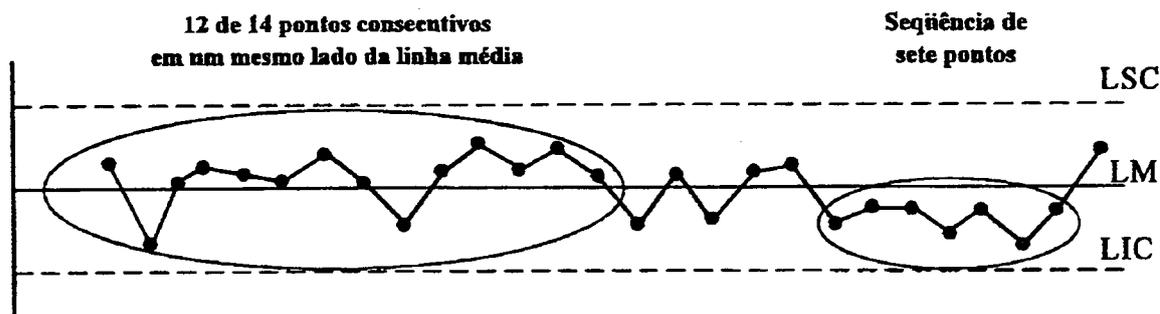


Figura 22 – Seqüência, adaptado de (WERKEMA, 1995b, P. 218-222)

São tipos de configurações mais difíceis de serem detectadas do que as representadas por pontos fora dos limites de controle. A seqüência geralmente indica uma mudança no nível do processo, demandando a revisão dos limites de controle e incorporação definitiva ao processo se as causas especiais relacionadas as mesmas forem “boas”. Se não forem “boas” para o processo as causas devem ser identificadas e removidas. Muitas vezes, as seqüências estão relacionadas a mudanças significativas no processo, tais como mudança de matéria-prima, mudanças na máquina, alterações nos procedimentos operacionais dentre outras. O principal padrão de seqüência é quando sete ou mais pontos seqüenciais aparecem em apenas um dos lados, abaixo ou acima, da linha média;

Periodicidade

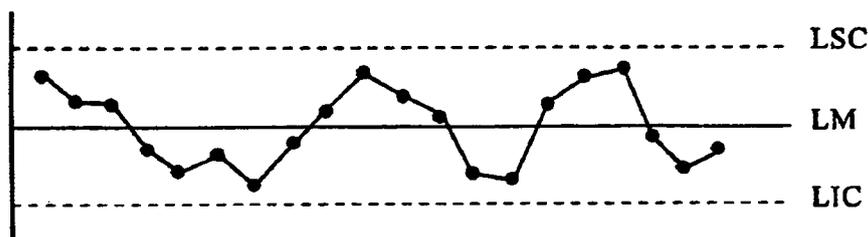


Figura 23 – Periodicidade (WERKEMA, 1995b, p. 218-222)

Assim como as seqüências a periodicidade é uma configuração detectável a longo prazo. A curva que representa o processo apresenta uma tendência alternada, para cima e para baixo. Geralmente estão associadas a variações temporais tais como sazonalidade da matéria-prima e rotatividade de operadores. São configurações típicas de processos auto-correlacionados que serão discutidas no item 5.2.4.e.

Tendências

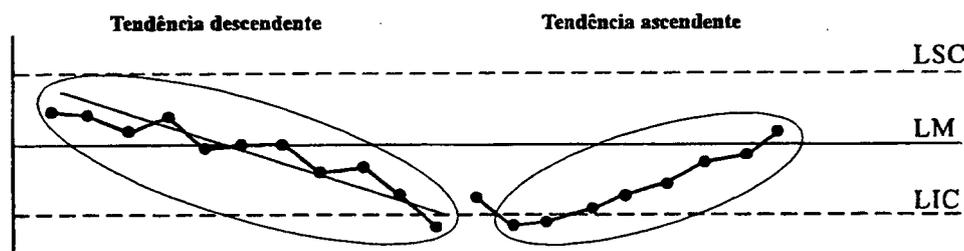


Figura 24 - Tendência (WERKEMA, 1995b, P. 218-222)

São também configurações detectáveis a longo prazo, podendo também estar associadas a processos auto-correlacionados. Sete ou mais pontos, ascendentes ou descendentes, já configuram uma tendência. Desgaste de ferramentas e mudanças nas condições ambientais, tais como temperatura, umidade e pressão são exemplos típicos de causas associadas a tendências.

Aproximação dos limites de controle

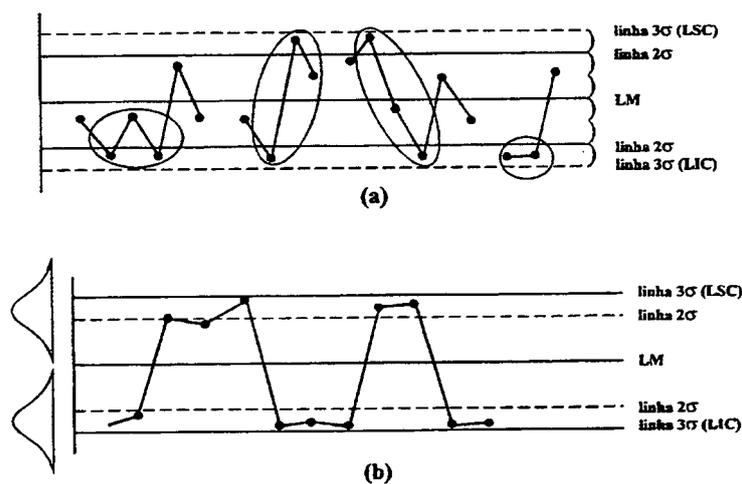


Figura 25 – Aproximação dos limites de controle, adaptado de (WERKEMA, 1995, P. 218-222)

São configurações caracterizadas por 2 ou mais pontos fora dos limites 2 sigmas da carta de controle. Estes limites, geralmente denominados de limites de advertência, são principalmente indicados para os processos cujos limites de controle estejam próximos aos limites de especificação. No entanto, ao se introduzir esta prática deve-se prestar atenção para verificar se a presença de 2 limites de controle para cada lado da carta não se torne

uma fonte de confusão para o operador que utilizará a carta como meio de controle do processo. A configuração representada na parte b da figura anterior, em que raramente existem pontos próximos a linha média, é típica de processos em que há superposição de distribuições. Hora são coletados dados de uma distribuição, hora são coletados de outra. As aproximações dos limites de controle são típicas também de super ajustes no processo. Isto é bastante comum quando os operadores tendem a ajustar o processo freqüentemente, na tentativa de responder às variações do processo, devido às causas comuns e não às especiais.

Aproximação da linha média

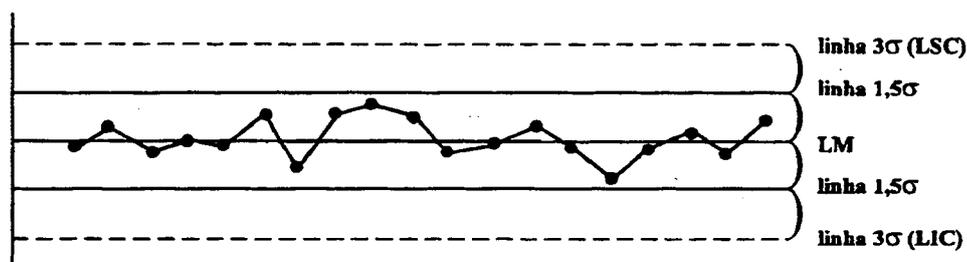


Figura 26 – Aproximação da linha média, adaptado de (WERKEMA, 1995, P. 218-222)

O diagnóstico, geralmente, não é a proximidade da linha média, mas afastamento dos limites de controle. São configurações típicas em que há mistura de subgrupos e/ou os dados são coletados em níveis hierárquicos mais elevados do que deveriam ser coletados. Este tipo de configuração é “perigosa”, pois apesar de aparentemente representar uma estabilidade, na realidade representa possíveis instabilidades do processo. No entanto, uma dica importante para detecção deste tipo de configuração pode ser extraída da carta R: se a amostra é proveniente de populações distintas, os valores de R podem ser elevados, o que faz com que os limites de controle da carta \bar{X} sejam bastante abertos.

Estas configurações são válidas para todas as cartas de controle convencionais, ou seja, \bar{X} - R, \bar{X} - S, carta p, carta np, carta c e carta u. Uma exceção é feita às cartas X-Am em que a única configuração válida para análise da carta Am é a existência de pontos fora dos limites de controle, pois os pontos nesta carta guardam uma correlação entre si.

Muitas vezes, dependendo das características dos processos, estes padrões não se aplicam na íntegra, necessitando ser adequados à realidade dos mesmos. Pode ser que para um determinado processo sete pontos consecutivos seja natural do processo. Logo, é importante levar em consideração as características intrínsecas durante a avaliação da estabilidade para que conclusões erradas acerca da estabilidade do processo não sejam obtidas. Uma das empresas visitadas, situada na cidade de Taubaté - SP, criou procedimentos que apresentam regras de exceções para utilização dos padrões de referência.

5.2.4.e – Avaliação da autocorrelação

Conforme dito no capítulo 2 se os dados que representam o processo forem autocorrelacionados pode ser que muitas causas especiais, detectadas durante a avaliação da estabilidade, sejam apenas falsos alarmes. Quando isto ocorre as cartas de controle convencionais de Shewhart não devem ser aplicadas diretamente tanto para a análise da estabilidade quanto para o controle de processos (MONTGOMERY, 1991, p. 341 - 350). Em outras palavras, esses modelos de carta de controle são apropriados a processos cujas observações sejam independentes e normalmente distribuídas. Como estas cartas são robustas a normalidade do processo, isto é, podem ser aplicadas mesmo que as observações do processo não sejam normalmente distribuídas, a principal dessas hipóteses é a independência entre os dados. Infelizmente, esta hipótese não é satisfeita para alguns processos.

Como o objeto de estudo deste trabalho é a aplicação das cartas convencionais, sempre que for detectado a presença de dados autocorrelacionados a metodologia estatística de avaliação da estabilidade apresentada nesta parte do trabalho perde a sua validade, isto é, toda a proposta de procedimento de implantação do CEP abordado até este ponto não é apropriado. Logo, é necessário realizar o estudo de autocorrelação dos dados que representam o processo em conjunto a análise de estabilidade, para que seja possível se decidir pela continuidade ou não da implantação do CEP segundo este modelo .

Método de avaliação da auto-correlação

Montgomery (1991, p.343-344) propõe um método de avaliação da autocorrelação entre dados. Para um processo com média μ e desvio padrão σ , uma característica da qualidade " X_t " pode ser expressa por:

$$X_t = \mu + \varepsilon_t \quad \text{para } t = 1, 2, \dots$$

onde:

t – tempo no instante 1, 2,

ε_t - é normalmente distribuído com média zero e desvio padrão σ .

O processo será auto-correlacionado se os valores de ε_t forem interdependentes, ao passo que se os mesmos forem independentes, o processo pode ser considerado não autocorrelacionado. A correlação de uma série temporal pode ser medida pela função de autocorrelação:

$$\rho_k = \text{cov}(X_t, X_{t-k}) / V(X), \quad \text{para } k = 0, 1, 2, \dots$$

onde:

$cov(X_t, X_{t+k})$ – covariância das observações em k períodos de tempo (ou lags)
 $V(X)$ – variância das observações, assumida como constante.

A expressão anterior pode então ser estimada por:

$$\rho_k = \frac{\sum (X_t - \bar{X})(X_{t+k} - \bar{X})}{\sum (X_t - \bar{X})^2}, \text{ para } k = 0, 1, 2, \dots$$

Como regra geral para se estimar ρ_k sempre se usa poucos valores de k , em geral, $k \leq n/4$, onde n é o número total de observações.

Na prática, muitos *softwares* realizam este cálculo. Um desses, o MINITAB (1998, p. 7.37-7.39), chega a fornecer a função de auto-correlação, na forma gráfica, com intervalos de confiança. Além disso, ele realiza um teste de hipóteses para as auto-correlações tendo como hipótese nula que todas as auto-correlações até a defasagem (lag) de ordem k são iguais a zero.

5.2.4.f – Exemplos de avaliação da estabilidade

Exemplo 1- avaliação da estabilidade em um processo de fabricação de motores elétricos

Este primeiro exemplo procura ilustrar como a realização da etapa de avaliação da estabilidade do processo, mais especificamente a revisão periódica dos limites de controle, é essencial para a prática efetiva do controle de processo. Este é um caso real ocorrido durante a implantação de uma carta de controle em uma das empresas visitadas.

Descrição do processo

Em um dos processos de fabricação de motor elétrico decidiu-se pela implantação de uma carta de controle por atributos (carta p) na característica “presença de fio fora de ranhura”. O macrofluxo produtivo do processo é demonstrado na figura a seguir:

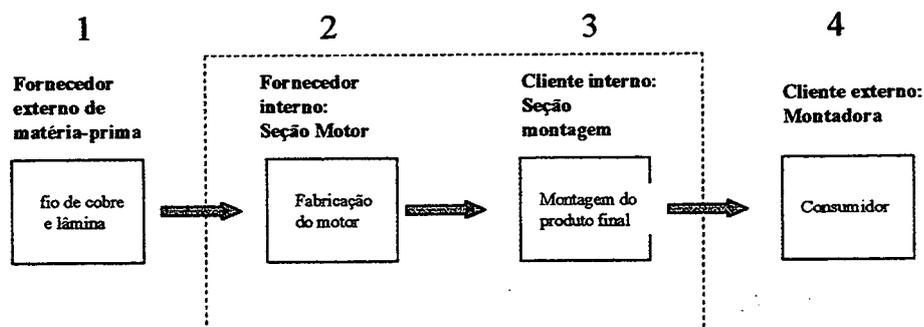


Figura 27 – Fluxograma do processo de fabricação do motor elétrico

A linha tracejada na figura delimita os processos produtivos sob autoridade da empresa, representados pelas etapas 2 e 3. Este tipo de defeito, que ocasiona a falha do produto final, é gerado na etapa 2 - seção motor. Nesta seção existe um ponto de inspeção no processo destinado a detectar a presença de fio fora de ranhura. Na etapa 3, seção montagem existe um painel que executa testes elétricos no produto final. A experiência demonstrava que quando os índices de rejeição aumentavam significativamente na seção motor, algumas peças defeituosas não eram detectadas, sendo então enviadas a seção montagem, pois o painel de testes desta seção acusava a presença de “fio fora de ranhura”. Este fato de aumento da presença de defeitos no cliente interno é decorrente da baixa eficácia da inspeção visual 100%. Sabia-se também que quando os índices aumentavam era porque algum distúrbio no processo, passível de correção, ocorria. Logo, os objetivos da implantação da carta de controle eram a princípio:

- ter um meio visual que indicasse um possível distúrbio no processo que pudesse gerar o aumento do índice de rejeição, e
- permitir a identificação de causas especiais, possibilitando a tomada de ações corretivas a contento, de forma a evitar que peças defeituosas fossem enviadas à seção montagem.

Descrição do problema

Foi enviado ao processo cliente um lote de motores defeituosos. O problema foi detectado entre as 13:30 h e 14:30 h do dia 08 de julho. Logo, devido a existência de estoque entre processos, os motores foram produzidos entre as 06:00h e 08:00 h do mesmo dia. Os dados referentes ao período de produção estão dispostos a seguir:

Tabela 3 – Dados referentes ao defeito “fio fora de ranhura”

Obs	Data	Hora	n	Defeit.
1	6/7/98	23:00	290	5
2	7/7/98	0:00	310	6
3	7/7/98	1:00	330	7
4	7/7/98	2:00	160	2
5	7/7/98	3:00	360	11
6	7/7/98	4:00	350	8
7	7/7/98	5:00	320	11
8	7/7/98	6:00	300	5
9	7/7/98	7:00	250	5
10	7/7/98	8:00	350	7
11	7/7/98	9:30	340	6
12	7/7/98	10:30	340	5
13	7/7/98	11:30	360	7
14	7/7/98	12:30	354	7
15	7/7/98	13:30	361	5
16	7/7/98	14:30	340	3
17	7/7/98	15:30	300	4
18	7/7/98	19:00	200	0
19	7/7/98	20:00	360	0
20	7/7/98	21:00	360	3
21	7/7/98	22:00	360	4

Obs	Data	Hora	n	Defeit.
22	8/7/98	23:00	180	1
23	8/7/98	0:00	280	5
24	8/7/98	1:00	300	9
25	8/7/98	2:00	130	7
26	8/7/98	3:00	300	10
27	8/7/98	4:00	310	4
28	8/7/98	5:00	250	9
29	8/7/98	6:00	200	7
30	8/7/98	7:00	300	7
31	8/7/98	8:00	280	5
32	8/7/98	9:30	300	5
33	8/7/98	10:30	300	4
34	8/7/98	11:30	340	7
35	8/7/98	12:30	300	4
36	8/7/98	13:30	293	3
37	8/7/98	14:30	300	6
38	8/7/98	15:30	340	5
39	8/7/98	16:30	320	2
40	8/7/98	17:30	340	2
41	8/7/98	19:00	320	3
42	8/7/98	20:00	330	7

O chefe da seção motor questionou junto a equipe técnica porque o problema não foi detectado dentro da sua seção. Teria a carta de controle indicado uma provável anomalia no processo? A equipe técnica disponibilizou a carta de controle para análise:

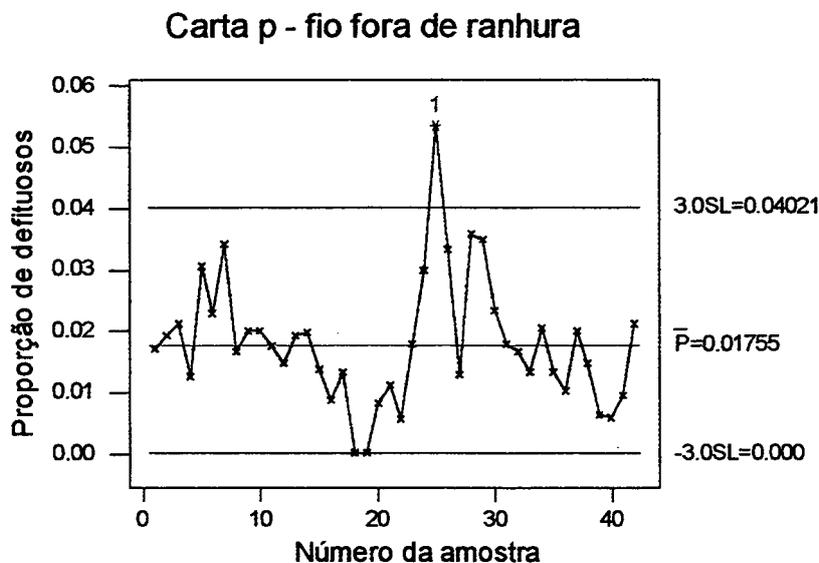


Figura 28 – Carta p para fio fora de ranhura (MINITAB, 1998)

As amostras relativas aos horários de produção dos motores defeituosos são as correspondentes ao números 28,29, e 30. A única causa especial é relativa a amostra 25, sendo representada pelo número 1, que significa a existência de um ponto de controle acima dos limites 3 sigmas. Em relação as amostras 28,29 e 30, a princípio, a carta de controle não indica a existência de causas especiais, pois não existem nem pontos fora dos limites ou nem configurações não aleatórias. O chefe então questionou a eficácia da carta de controle.

Análise do problema

A carta de controle tinha sido implantada recentemente. A etapa de estabilização do processo não tinha sido realizada. Logo, muitas causas especiais deveriam estar atuando no processo. Se o valor de “p” não era estável então os limites de controle poderiam não estar representando a realidade do processo, pois o cálculo destes dependem do valor da fração de defeituosos “p”. Uma nova investigação permitiu identificar que os limites de controle foram estabelecidos com base em uma amostra padrão de 25 observações e não foram mais revisados. Logo, o procedimento mais correto seria realizar a revisão dos mesmos periodicamente até que fossem eliminadas todas as causas especiais que atuavam sobre o processo.

Uma análise da carta de controle anterior indicava a existência de duas nuvens de pontos. Estas, na carta de controle, eram representadas pelas observações de número 5,7,24,25,26,28 e 29. Estas amostras indicavam que os índices de rejeição estavam muito acima da linha média, apresentando valores próximos superiores a 3% . A experiência

demonstrava que valores de rejeição dessa magnitude poderiam estar relacionados a ocorrência de causas especiais. Logo, para uma situação em que o processo fosse estável o limite superior de controle deveria ser próximo a um índice de rejeição de 3%. Os limites foram então recalculados sem as respectivas amostras:

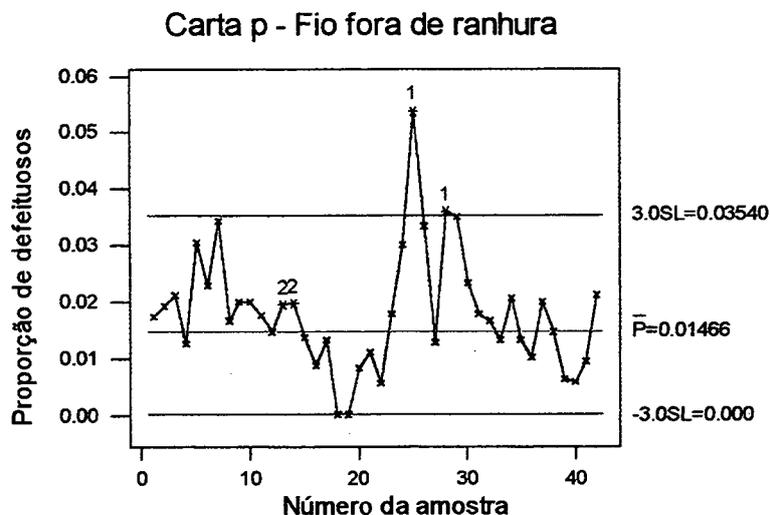


Figura 29 – Carta p com limites de controle revisados para fio fora de, ranhura (MINITAB 1998)

Como pode ser observado, na figura anterior, 4 causas especiais foram então identificadas. Os números 1 e 2 indicam, respectivamente:

- a existência de 1 ponto fora dos limites 3 sigmas, e
- a ocorrência de 9 ou mais pontos consecutivos abaixo ou acima da linha média.

Os diários de bordo não traziam a indicação de investigação de causas especiais para os pontos 13,14 e 28. Este último ponto é relativo ao horário de 06:00h do dia 08 de julho, período provável da produção dos motores defeituosos. Portanto, se os limites de controle tivessem sido recalculados periodicamente e as respectivas causas especiais identificadas, poderia ter sido evitado o envio de motores defeituosos ao processo cliente.

Exemplo 2: análise do banho de fosfato

Este segundo exemplo é relativo a um processo químico cujo característico de interesse é a acidez total de um banho. Neste exemplo temos um caso típico em que é controlada uma característica de qualidade do processo e não do produto. O principal objetivo deste exemplo é demonstrar como o uso das cartas de controle convencionais não são adequadas para analisar a estabilidade de processos auto-correlacionados.

As cartas utilizadas para o controle do processo são X-Am (valores individuais - amplitudes móveis). As amostras individuais são coletadas a cada 4 horas, aproximadamente. A análise da estabilidade realizada na época em que os dados foram coletados não foi conclusiva, justamente porquê se utilizou modelos de Shewhart e os dados dos processos não são independentes. Contudo, decidiu-se manter a carta para controle, pois a mesma indica quando é necessário alterar parâmetros do banho químico.

Como será mostrado ao longo deste exemplo, outros modelos de carta de controle apropriados ao tratamento de dados auto-correlacionados, deveriam ter sido utilizadas.

Os setenta e dois dados, dispostos na tabela 5, são relativos a uma semana de operação do processo:

Tabela 4- Dados coletados para a avaliação da estabilidade de um processo químico.

Subgrupo	ACTOT	Subgrupo	ACTOT	Subgrupo	ACTOT
1	33.1	25	33.6	49	33.6
2	33.2	26	33.1	50	33.6
3	33.2	27	32.2	51	33.4
4	33.1	28	33.4	52	33.0
5	32.8	29	33.2	53	32.6
6	32.4	30	33.2	54	33.8
7	31.8	31	33.1	55	34.0
8	32.8	32	32.8	56	33.6
9	32.8	33	33.4	57	32.9
10	32.8	34	33.1	58	33.2
11	33.1	35	33.0	59	33.0
12	33.0	36	32.7	60	32.7
13	33.0	37	33.2	61	32.7
14	32.9	38	33.1	62	32.9
15	33.0	39	32.8	63	32.8
16	33.0	40	33.0	64	33.0
17	33.1	41	32.9	65	32.9
18	33.0	42	33.2	66	33.5
19	33.6	43	33.1	67	33.4
20	33.5	44	32.9	68	33.2
21	32.9	45	33.5	69	33.7
22	33.5	46	33.3	70	33.5
23	33.3	47	33.2	71	33.6
24	33.1	48	33.4	72	33.3

Como cada subgrupo é composto por uma única observação selecionou-se a carta X-Am (individuais – amplitude móvel) para análise dos dados:

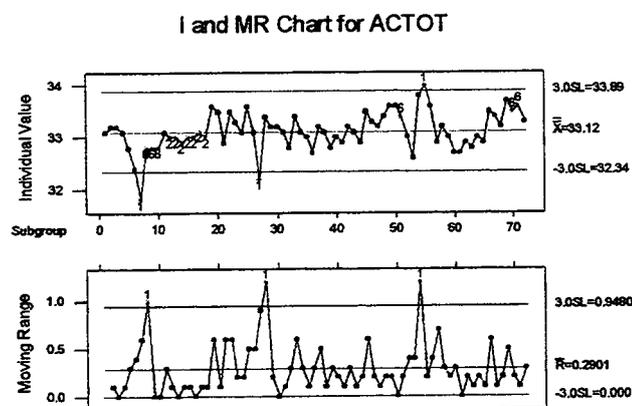


Figura 30 – Carta X-Am para acidez total (MINITAB 1998)

Análise das cartas

As cartas de Shewhart indicam existir diversas condições de instabilidade. Os números 1, 2 e 6, que representam a possível presença de causas especiais, significam respectivamente:

- 1 – Pontos fora de um dos limites de controle;
- 2 – Nove ou mais pontos seqüenciais de um mesmo lado (abaixo ou acima da linha média);
- 6 - Quatro entre cinco pontos distantes mais de 1 sigma da linha média em qualquer um dos lados.

Para a carta Am o único padrão de análise do estado de controle estatístico é a existência de pontos foras dos limites de controle, pois os pontos nesta carta apresentam uma correlação entre si. A carta X (individual value) não deve ser analisada até que se investiguem as causas especiais destacadas na carta R. No entanto, como pode-se notar, para cada ponto que representa uma situação de instabilidade do processo na carta R, existe um ponto na carta X que está abaixo ou próximo ao limite de controle inferior. Além disso, é visível uma seqüência de pontos em forma de serrrote que se inicia ascendentemente a partir desses pontos.

Uma investigação destes pontos na carta X indicou que os mesmos eram relativos troca à do refinador do banho. No entanto, esta é uma condição necessária ao processo e portanto, apesar da carta X indicar condições de instabilidade do processo, pode ser que estes dados não sejam independentes e neste caso as cartas de Shewhart não são as melhores ferramentas para se analisar a estabilidade do processo. Em outras palavras, os pontos fora dos limites indicados nas cartas X-Am podem, na realidade, não representar um processo fora de controle estatístico. Logo, é necessário investigar se os dados são auto-correlacionados. Para tanto, realizou-se uma análise da auto-correlação dos dados, conforme é demonstrada a seguir.

Análise da autocorrelação

A análise da autocorrelação foi realizada no software MINITAB (1998, p. 7.37-7.39). O mesmo possui uma rotina específica para cálculo da auto-correlação. O número de lags selecionados foi 14 ($n^{\circ} \text{lags} \leq n^{\circ} \text{subgrupos} / 4$). A figura abaixo apresenta o gráfico da função de auto-correlação:

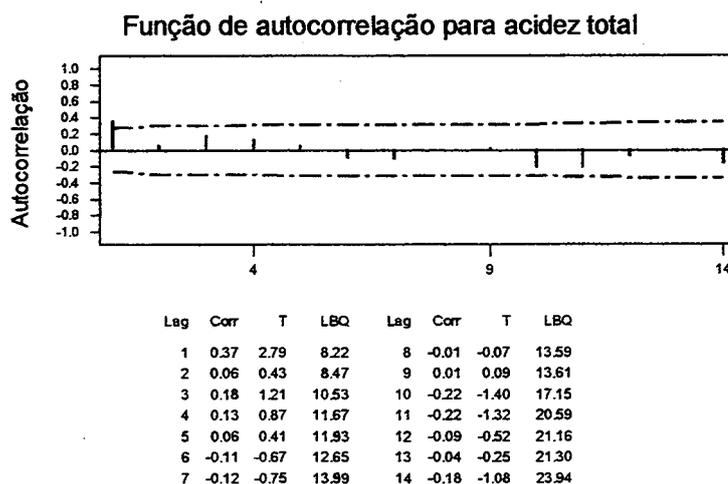


Figura 31 - Função de autocorrelação para acidez total (MINITAB 1998)

Na tabela disposta logo abaixo do gráfico anterior, o termo “corr” é a característica de interesse. Como pode ser observado, as autocorrelações para os lags 1, 3 e 4 parecem ser significativas. Contudo, realizou-se um teste de hipóteses para testar a significância destas autocorrelações.

Teste de hipóteses

O Minitab possui também uma rotina específica para o teste de hipóteses aplicado ao estudo das correlações. O teste abordado é o **Ljung-Box Q** (*LBQ test*) para os 4 primeiros lags, em que:

H_0 : as autocorrelações até o lag n. 4 são iguais a zero

H_1 : as autocorrelações até o lag n. 4 são diferentes de zero

Para estes valores o software determinou um valor de:

Valorp = 0.0199816

Como valorp é menor que 0,05 pode-se rejeitar a hipótese H_0 . Em outras palavras, pode-se dizer que existe correlação a um nível de significância de 5%.

Logo, para este caso específico, as cartas de controle de Shewhart não são as melhores técnicas estatísticas tanto para se analisar a estabilidade quanto para controlar o processo. Portanto, outros mecanismos de análise, que não são objetos dessa dissertação, deveriam ser utilizados. Como já citado anteriormente, literaturas específicas tratam da aplicação de cartas de controle para processos autocorrelacionados, tais como *Statistical Quality Control* (MONTGOMERY, 1991) e *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (BOX and JENKINS, 1976).

5.2.5 - Avaliação da capacidade²⁷ de processos

A princípio os dois únicos requisitos estatísticos para se utilizar cartas de controle convencionais são:

- que o processo esteja sob estado de controle estatístico, e
- que a distribuição estatística do processo seja normal (ou aproximadamente) e composta por observações independentes.

No entanto, a metodologia aqui apresentada preconiza que além desses dois requisitos seja atendido mais um:

- que o processo seja capaz de atender às especificações.

A justificativa se baseia na confusão que pode ser originada da adoção de cartas de controle em processos não capazes: se os processos candidatos ao CEP não forem capazes de atender as especificações, será necessário no caso de controle de características do produtos, além das cartas de para controlar o processo, utilizar a inspeção completa²⁸, para segregar as peças conformes das não conformes. Isto na prática pode gerar uma enorme confusão para as pessoas que operam diretamente as máquinas ou postos de trabalho. Eventualmente, pode-se utilizar cartas de controle em processos não capazes. Mas a medida mais eficaz, a princípio, seria investigar as causas comuns que tornam o processo não capaz e, após a tomada de ações corretivas, se utilizar as cartas de controle.

Logo o fluxo proposto para avaliação da capacidade seria o seguinte:

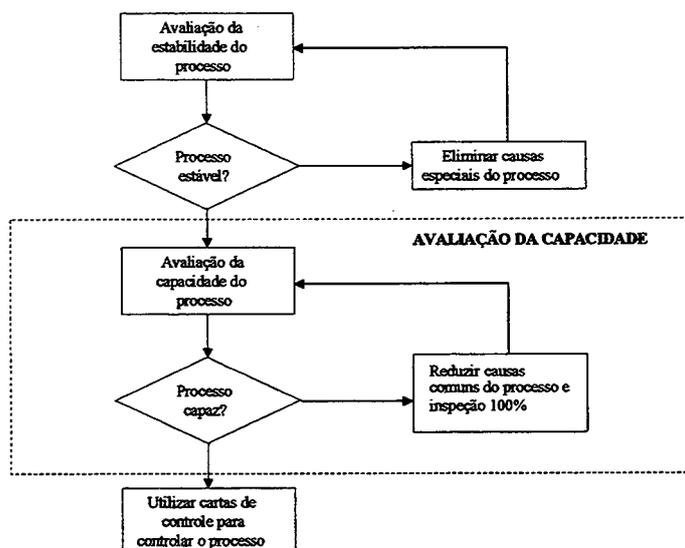


Figura 32 – Fluxo de avaliação da capacidade de processos

²⁷É comum encontrar em alguns livros e textos utilizados na indústria o termo *capabilidade* como tradução da palavra em inglês *capability*. No entanto, *capabilidade* ainda não existe oficialmente na língua portuguesa.

²⁸ Também conhecida como inspeção 100%.

A avaliação da capacidade deve ser posterior a avaliação da estabilidade porque não se deve avaliar a capacidade onde existam variações devidas às causas especiais. Alguns autores incorporam a ausência de causas especiais no processo no conceito de capacidade, definindo como processo capaz aquele que é estável e atende às especificações. Na prática a avaliação da capacidade deve ser dividida em 2 partes:

- Avaliação da máquina²⁹, e
- Avaliação do processo

5.2.5.a – Procedimento geral para avaliação da capacidade

Quanto ao procedimento a ser utilizado, pode-se afirmar que as fórmulas e tipos de gráficos utilizados para as duas avaliações (da máquina e do processo) são os mesmos, diferindo apenas no plano de coleta de dados.

A avaliação da capacidade de um processo é a atividade de quantificação e análise da variabilidade do mesmo (MONTGOMERY, 1991, p 365). Para avaliar a capacidade compara-se a variabilidade de um determinado característico de qualidade com a especificação do produto ou processo pertinente. Assim, quanto menor a variabilidade em relação as especificações de um produto ou processo maior a capacidade de um processo.

Dentre os métodos difundidos o mais usual é o que propicia o cálculo dos índices de capacidade C_p (índice de capacidade potencial) e C_{pk} (índice de capacidade real), conforme descrito no item “2.9 – Capacidade do processo”, no capítulo 2.

Não tem sentido falar em avaliação da capacidade para característicos por atributos, pois as próprias proporções de não conformes são uma estimativa da variabilidade do processo.

Alguns passos são importantes na avaliação da capacidade, a saber:

Confirmação da estabilidade

O primeiro passo deve ser a confirmação de que eventuais dados relativos a causas especiais não fazem parte da amostra a ser utilizada para cálculo da capacidade do processo. Um procedimento adequado seria utilizar dados do período em que o processo já estivesse estabilizado, conforme diretrizes descritas no item 5.2.4.

Verificação da normalidade dos dados

As fórmulas descritas anteriormente para o cálculo de C_p e C_{pk} são válidas para um processo cuja distribuição seja normal. Se a distribuição não for normal, a dispersão de referência 6σ , utilizada nos denominadores das fórmulas, não são mais adequadas. Se se

²⁹ Por máquina entende-se todos os equipamentos e dispositivos que permitem a produção de bens. Num processo de estamparia de metais as máquinas seriam as prensas. Num processo de usinagem as máquinas seriam os tornos, fresadoras, retificadoras, entre outras.

utilizar estas fórmulas para processos não normais conclusões erradas acerca da capacidade podem ser obtidas. Logo, o segundo passo para avaliação da capacidade deve ser a avaliação da normalidade dos dados.

Inicialmente deve ser construído um histograma dos valores individuais e deve ser aplicado um teste de normalidade. A análise visual do histograma não determina o tipo de distribuição, pois a forma do histograma é determinada pelo número de intervalos de classe e não existe uma regra científica para tanto. Existem muitos métodos para se verificar a normalidade dos dados. Um desses é o Método Kolmogorov- Smirnov (COSTA NETO, 1992, p. 133-135). No entanto, é mais prático realizar a verificação da normalidade com o auxílio de *softwares* estatísticos. Um desses, o Minitab, oferece a opção de se testar a normalidade através de um dos seguintes testes: Anderson-Darling, Ryan-Joiner e Kolmogorov-Smirnov (MINITAB, 1998, P. 1.37-1.40).

Cálculo dos índices de capacidade

Se a distribuição que caracteriza o processo for normal, as fórmulas descritas anteriormente podem ser utilizadas. Para utilização destas é necessário calcular o desvio padrão do processo. No entanto, como geralmente não se conhece o valor do mesmo é necessário estimá-lo a partir de dados amostrais. Existem diversas alternativas para a realização desta estimativa. Montgomery (1991, p. 370) sugere duas:

- O desvio padrão pode ser estimado a partir do cálculo do desvio padrão “S” dos dados individuais da amostra.
- O desvio padrão pode ser estimado a partir do cálculo de R / d_2^{30} ou S / c_4 quando cartas de controle são utilizadas.

Após a estimativa do desvio padrão, o mesmo deve ser substituído na fórmula e os índices calculados.

Se a distribuição que caracteriza o processo não for normal existem duas alternativas:

- Transformar os dados não normais em dados aproximadamente normais e realizar o cálculo do desvio padrão para os dados transformados.
- Ajustar uma distribuição aos dados do processo e calcular os índices de capacidade para estes dados.

Contudo, mais uma vez, estes cálculos se tornam mais fáceis e práticos se realizados com o auxílio de um *software* estatístico. O Minitab (1998, p. 14.1-14.16) apresenta duas opções. Uma primeira transforma os dados aplicando a Transformação de *Box – Cox* e em seguida calcula os índices de capacidade para os dados transformados. Uma segunda ajusta um modelo de probabilidade de *Weibull* e calcula os índices para este modelo.

³⁰ d_2 e c_4 são coeficientes utilizados para a estimativa do desvio padrão através do subgrupos formados para a carta de controle.

Análise dos dados e estabelecimento da meta de melhoria

Apesar de permitir a quantificação da variabilidade de um processo, os índices de capacidade sozinhos não são suficientes para se concluir sobre a centragem do processo. Em outras palavras, dois processos com o mesmo índice de C_{pk} não necessariamente tem o mesmo índice de não conformes. Assim, para que se possa avaliar capacidade de um processo é necessário avaliar tanto os índices quanto o histograma dos dados do processo. Enquanto os índices C_p e C_{pk} permitem uma avaliação quantitativa, a análise visual do histograma permite concluir qualitativamente sobre a dispersão dos dados. Esta análise qualitativa compreende a visualização da média do processo e a posição relativa da distribuição de dados em relação aos limites de especificação.

Muitas empresas têm exigido ou recomendado a seus fornecedores valores padrão de índices de capacidade, seja para manutenção de contratos atuais ou assinatura de novos. As empresas utilizadas como referência neste trabalho adotam os seguintes valores:

Índice	Comentário
$C_{pk} < 1,00$	Incapaz
$1,00 \leq C_{pk} < 1,33$	Relativamente capaz
$C_{pk} \geq 1,33$	Capaz

As empresas visitadas têm imposto, conforme sugere a tabela anterior, como valor mínimo um C_{pk} da ordem de 1,33. Sob o ponto de vista prático, esta metodologia sugere que um C_{pk} da ordem de uma unidade já é suficiente para que cartas de controle possam ser eficazmente implantadas. O aumento do C_{pk} , que representa uma redução da variabilidade do processo, deve advir da prática efetiva do CEP.

Após a análise é necessário estabelecer uma meta de melhoria para os índices de capacidade. Contudo, para o estabelecimento desta meta é recomendável levar em consideração o custo do processo e a sua especificação. Processos com C_p maiores apresentam também uma maior possibilidade de não produção de peças defeituosas quando a média do processo varia. Em contrapartida, processos com C_p maior são também geralmente mais caros. Além de se questionar os custos é também necessário se questionar as especificações do produto ou do processo (SHAININ, 1992, p.251-257). Muitas vezes, os projetistas apertam as tolerâncias mais do que o necessário, com receio de que possam ocorrer problemas de funcionamento, intercambialidade ou de processo. (CSILLAG, 1995, p. 140). O certo é que uma tolerância muito apertada pode requerer processos e sistemas de medição mais caros e muito esforço para tornar estes capazes de atender a estas especificações. Isto pode tornar o CEP inoperante, porque por mais esforços que se dispensam para reduzir a variabilidade do processo, o mesmo pode continuar incapaz de atender às especificações de projeto. Shainin (1992, p. 255) destaca que é bastante comum se produzir anos a fio fora da tolerância de projeto:

“...Eu tenho trabalhado em um processo cuja tolerância total é 0,0002 polegadas. Ambos, Engenharia de produtos e Manufatura, têm me afirmado que eles vêm trabalhando assim com essa tolerância por anos. Mas, quando micrômetros digitais, comparadores e colunas pneumáticas foram verificadas com Isiplot^{SM 31}, eles ficaram surpresos. Muitas peças tinham sido produzidas tanto

³¹ Sistema de avaliação da capacidade de meios de medição proposto por Shainin.

dentro quanto fora da tolerância. Mas eles não conseguiam dizer a diferença entre estar dentro ou fora da tolerância. Qual a tolerância correta, p?”

5.2.5.b - Avaliação da capacidade da máquina

Deve-se iniciar a avaliação pela máquina porque um processo não será capaz se a máquina ou conjunto de máquinas que o compõem não forem também capazes. Na prática, a não realização da avaliação da capacidade da máquina pode culminar no fracasso de implantação do CEP se as máquinas não forem capazes, e as causas desta incapacidade estiverem relacionadas ao projeto das mesmas. E as razões deste insucesso geralmente estão relacionadas a esforços grandiosos e inúteis. Explicando melhor: sem se realizar a etapa de avaliação da capacidade de máquina, cartas e mais cartas de controle poderão ser implantadas e “desperdiçadas” para se concluir, após um longo tempo, que as máquinas foram concebidas para garantir uma capacidade que não atende às especificações.

Entendido a necessidade de se avaliar a capacidade da máquina, o desafio seguinte será isolar este fator de manufatura, isto é, deve-se procurar garantir que apenas variações devidas à máquina ocorram durante o período de coleta de dados. Portanto, todos os cuidados devem ser tomados para evitar a introdução de outras fontes de variação de causas especiais. Para tanto, deve-se procurar fixar outros fatores de variação, tais como:

- Operador: deve-se fixar um único operador, para que diferenças entre métodos de operação não ocasionem variações na máquina. Este operador selecionado deve estar treinado e conhecendo todos os detalhes que garantam uma adequada operação da máquina.
- Matéria-prima: deve estar isentas de defeitos e ser a mais homogênea possível. Não devem ser misturadas matérias-primas de fornecedores diferentes.
- Ajustes periódicos: ajustes periódicos nas máquinas devem ser evitados para que estes não ocasionem também variações devido a causas especiais.
- Ferramentas: devem ser utilizadas ferramentas que reconhecidamente garantam bons resultados.

E assim consecutivamente todas as fontes geradoras de causas especiais devem ser isoladas. O “**Mapa de processo**” nesta etapa é de enorme valia, pois o mesmo apresenta todas as informações necessárias para o planejamento desta etapa.

No entanto, na prática coletar dados de forma que apenas as fontes de variação relativas a máquina se manifestem nem sempre é uma atividade tão simples de ser realizada, isto porque as variáveis ruído, identificadas no mapa de processo, podem encobrir os efeitos das fontes de variação relacionadas à máquina. Este problema pode ser detectado quando os índices de capacidade da máquina e do processo são comparados. Se estes apresentarem valores próximos, é um sinal que as fontes de variação relacionadas à máquina não foram isoladas. A princípio se espera que os índices de capacidade de máquina sejam superiores aos índices de capacidade do processo, pois estes últimos levam em consideração os efeitos de uma gama muito maior de fontes de variação. No entanto, se não for possível isolar adequadamente os efeitos das fontes de variabilidade que atuam sobre a máquina, deve-se realizar a etapa de avaliação da capacidade da máquina e durante a análise destes índices é importante, de forma crítica, levar em consideração estes aspectos.

O período de coleta de dados deve ser o menor possível, sendo o suficiente para retratar apenas a variabilidade da máquina, minimizando a possibilidade que outras

variações relativas a demais fontes de variabilidade se manifestem. Para tanto é importante que as medições sejam consecutivas, isto é, deve-se, produzir as peças seqüencialmente e retirá-las para medição, como se existisse uma única amostra. Caso seja necessário dividir a amostra em subamostras menores deve-se atentar para que os intervalos de tempo entre as mesmas não sejam muito longos e que não hajam ajustes nos processos (a não ser que estes sejam automáticos).

Quando possível devem ser anotadas todas as informações relativas ao comportamento da máquina, quando em operação, pois estas podem ser úteis na interpretação dos dados.

É importante ressaltar que o conceito de máquina, as vezes, pode sofrer alterações quando se trata de avaliação da capacidade. Muitas vezes uma máquina é composta por diversas saídas. Sob o ponto de vista da avaliação da capacidade devem ser calculado índices diferentes para as diferentes partes. Um exemplo é de uma injetora de alumínio com 4 cavidades: cada cavidade deve então ser considerada como uma máquina e portanto deve existir um índice para cada cavidade. Na realidade o conceito que está se abordando aqui é o mesmo de subgrupos racionais, já abordado anteriormente.

É comum renomear os índices de capacidade quando se trata de avaliação da capacidade de máquina: C_m e C_{mk} substituem C_p e C_{pk} respectivamente.

5.2.5.c - Avaliação da capacidade do processo

Diferentemente da avaliação da capacidade da máquina, nesta etapa a intenção é que todas as fontes de variação relativas às causas comuns se manifestem durante o período de coleta de dados. Mais uma vez o “Mapa de Processo” contém informações úteis para o planejamento da coleta de dados.

Quanto ao tamanho da amostra alguns autores têm sugerido um valor em torno de 25 pontos³² (Montgomery, 1991, p.386). Determinar 20 ou 25 amostras como tamanho de amostra padrão para avaliação da capacidade do processo não é adequado. Fair e Wise (1998, p.66- 71) ressalta que esta tem sido uma das causas de insucesso da aplicação de cartas de controle:

“... As técnicas tradicionais de CEP foram desenvolvidas para serem aplicadas a processos de produção que apresentavam raras mudanças. Para implantar uma carta de controle que refletisse a performance do processo eram necessários entre 15 e 25 pontos. Henry Ford disse que seus clientes poderiam escolher qualquer cor de veículo Ford que eles desejassem, desde que fosse preta. Se alguém desejasse implantar uma carta para controlar a espessura da camada de tinta preta não tinha maiores problemas. Não tinha problemas porque 15 ou 25 carros já seriam suficientes.”

Na prática o tamanho da amostra deve ser proporcional ao tempo necessário para que todas as fontes de variação do processo se manifestem. Assim, em termos de tempo, o período de coleta de dados pode variar de horas até mesmo dias. Se duas matérias-primas diferentes são utilizadas em um processo, a coleta de dados deve compreender amostras relativas às duas. No entanto, para que se leve em consideração todas as possíveis fontes de variação no processo o conceito de formação de subgrupo racional deve ser respeitado.

³² Não apenas para avaliação da capacidade mas também para avaliação da estabilidade.

5.2.5.d - Observações gerais sobre os índices de capacidade

Durante o cálculo e análise dos índices de capacidade alguns cuidados especiais devem ser tomados em função de várias características que cercam a estimativa destes índices. A seguir serão traçados alguns comentários acerca dessas características.

Dados individuais para o cálculo de S

Um primeiro aspecto refere-se aos dados utilizados para o cálculo de S. Quando dados são extraídos de uma carta de controle, o cálculo de S deve ser realizado para os valores individuais da amostra. Se se utilizar os valores médios de cada subgrupo estará se cometendo um erro, pois pelo Teorema Central do Limite, o desvio padrão das médias é menor que o desvio padrão dos dados individuais (COSTA NETO, 1992, p. 50). Se este erro for cometido os índices de capacidade tendem a apresentar valores maiores.

Métodos diferentes de estimação do desvio padrão geram índices de capacidade também diferentes

As alternativas, S , R/d_2 ou S/c_4 , levam a diferentes índices de capacidade. Burke et al. (1998, p.445–453) demonstra para um mesmo conjunto de dados que os índices são diferentes. O mesmo acrescenta que do ponto de vista do fornecedor o método que maximiza os índices de capacidade é geralmente o selecionado. Segundo Burke este comportamento pode gerar um jogo entre o cliente e o fornecedor, inibindo, conseqüentemente, o desenvolvimento de um ambiente de cooperação com ênfase na melhoria de processos.

Exageros a parte, na prática é importante adotar uma forma padrão de se estimar o desvio padrão para que índices de diferentes amostras possam ser comparados entre si.

Tamanho da amostra

Como o desvio padrão utilizado para o cálculo dos índices de capacidade é um desvio padrão estimado, o tamanho da amostra deve ser representativo, pois a estimativa vai ser tanto melhor quanto mais representativa for a amostra utilizada para o cálculo dos índices. Montgomery sugere que o tamanho da amostra seja determinado a partir de um teste de hipóteses para o índice de capacidade C_p . O procedimento detalhado para cálculo do tamanho de amostra a partir do teste de hipóteses pode ser encontrado em Montgomery (1991, p. 373-377).

Intervalo de confiança para C_p

Por também ser uma estimativa, o índice de capacidade C_p a princípio é válido para a amostra. Não se pode afirmar por melhor que seja a estimativa de C_p que o índice é seguramente válido para todo o processo. Uma forma de compensar os erros obtidos na

estimativa é, além de utilizar o tamanho adequado de amostra conforme descrito anteriormente, calcular o intervalo de confiança para o índice de capacidade C_p (MONTGOMERY, 1991, p. 375)

Os índices de capacidade não garantem ausência de defeituosos

Nas indústrias é muito comum se afirmar que um processo com elevados índices de capacidade (na ordem de 1,66 ou mais) apresentam uma baixa probabilidade de fornecer produtos defeituosos. Esta é uma afirmação que se deve ter cuidado em analisá-la:

- Primeiro, os índices de rejeição em ppm convertidos a partir dos valores de C_p e C_{pk} conforme descrito no capítulo 2 são válidos se a distribuição do processo for normal ou se os dados foram transformados para se adaptarem a uma distribuição normal. Se a distribuição não for normal os índices de rejeição devem ser estimados de acordo com a distribuição que melhor se adequar ao processo. Em geral, o percentual de defeituosos, nestes casos, é calculado com o auxílio de *softwares* estatísticos.
- Segundo, os índices de rejeição em ppm, convertidos a partir dos valores de C_p e C_{pk} (ver capítulo 2), são válidos quando não se tem causas especiais atuando no processo. Um processo estável também está sujeito a ocorrência de novas causas especiais (embora espera-se que sejam esporádicas). Não se pode retirar a condição de estabilidade de um processo se, em algum momento no tempo, poucas causas especiais forem identificadas. Na prática, é bastante comum a alternância entre longos períodos sob controle e curtíssimos períodos com índices significativos de rejeição. Geralmente, as principais causas são a troca de ferramentas, inícios ou fins de turnos de trabalho, entre outras. Portanto, processos estáveis e capazes ao longo do tempo também podem produzir defeituosos em momentos localizados.
- Terceiro, como o índice de capacidade foi calculado para uma situação do processo em algum momento no tempo, este não deve ser considerado como “definitivo”, pois, em geral, não existem garantias que as condições do processo se repitam indefinidamente ao longo do tempo (haja vista os efeitos gerados pelo fator entropia discutidos no capítulo 2). Uma forma de se concluir com mais segurança sobre a capacidade de processos é recalcular periodicamente estes índices. A princípio, não existe uma regra definida para definir esta periodicidade. Esta deve ser definida de acordo com a realidade de cada processo, ou melhor, de acordo com a magnitude e frequência de variação do processo a longo prazo.

5.2.5.e- Exemplo de avaliação da capacidade do processo

Este exemplo é referente à avaliação da capacidade de um característico de qualidade de um processo de injeção de alumínio. O produto do referido processo é um dos componentes que compõem o produto final fornecido por uma das empresas visitadas consideradas no escopo dessa dissertação. Os principais objetivos desse exemplo são:

- demonstrar como a formação inadequada de subgrupos racionais pode induzir à conclusões inadequadas quanto a avaliação da capacidade de processos.
- demonstrar como a utilização da distribuição inadequada pode levar a obtenção de índices de capacidade diferentes.

O característico de qualidade selecionado é a planicidade desse componente injetado. Se a planicidade estiver fora do especificado muitos problemas relacionados ao desempenho do produto podem ocorrer.

Descrição do processo

O processo de produção é constituído de uma máquina injetora de alumínio que possui 12 cavidades. A cada turno uma peça de cada cavidade é retirada para medição. As medições da planicidade em micrometros são realizadas em uma Máquina de Medir por Coordenadas (MMC), sendo os dados referentes às 12 cavidades coletados em cada turno.

Avaliação da capacidade quanto a formação de subgrupos

A formação dos subgrupos racionais é uma etapa importante na avaliação da capacidade de processos. Existem, a princípio, duas formas de se formar os subgrupos para esse exemplo:

- ✓ Método inadequado: considerar uma amostra como as peças obtidas de todas as cavidades. Assim o tamanho da amostra seria de 12 peças para cada turno.
- ✓ Método adequado: considerar cada peça de cada cavidade como uma amostra. Logo, o tamanho da amostra seria igual a 1 unidade.

O segundo método de formação de subgrupos é considerado adequado porque cada cavidade é como se fosse uma máquina, ou seja, sob o ponto de vista técnico duas cavidades diferentes fornecem produtos distintos.

A seguir serão apresentadas duas avaliações de capacidade: uma primeira considerando a formação inadequada de subgrupos racionais, e uma segunda considerando dados relativos apenas a uma das cavidades da injetora.

Avaliação da capacidade considerando a formação inadequada de subgrupos racionais

As medições referentes aos 24 turnos de trabalho³³ estão dispostos na tabela a seguir:

Tabela 5 – Valores de planicidade para 12 cavidades de uma injetora

Turno / cavidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 9	0,106	0,1084	0,0928	0,0899	0,0803	0,0938	0,0941	0,0778	0,0945	0,0809	0,0710	0,1001
2 2	0,083	0,0974	0,0931	0,0879	0,0747	0,0927	0,0950	0,0800	0,0914	0,1025	0,0894	0,0995
3 1	0,107	0,0945	0,0907	0,0933	0,0796	0,0922	0,0977	0,0877	0,0892	0,0771	0,0820	0,0976
4 6	0,081	0,1003	0,0950	0,0906	0,0821	0,0926	0,0890	0,0880	0,0940	0,1096	0,0868	0,1088
5 1	0,088	0,0989	0,0981	0,0902	0,0812	0,1051	0,1028	0,0914	0,0847	0,1058	0,0751	0,1113
6 4	0,089	0,0949	0,0964	0,0914	0,0806	0,0999	0,0963	0,0962	0,0879	0,1024	0,0693	0,1036
7 2	0,087	0,0947	0,1060	0,0929	0,0852	0,1031	0,1034	0,0904	0,0928	0,1022	0,0736	0,0972
8 6	0,088	0,0968	0,0998	0,0861	0,0797	0,0943	0,0943	0,0893	0,0866	0,0962	0,0700	0,0941
9 3	0,086	0,1027	0,0927	0,0868	0,0802	0,0885	0,0921	0,0893	0,0890	0,0970	0,0704	0,0993
10 2	0,105	0,1037	0,0927	0,0802	0,0868	0,0884	0,0944	0,0992	0,0882	0,0893	0,0684	0,1003
11 9	0,091	0,0964	0,0891	0,0882	0,0801	0,0917	0,0990	0,0987	0,0803	0,1071	0,0751	0,0967
12 9	0,103	0,1059	0,0851	0,0847	0,0810	0,0891	0,1037	0,0910	0,0941	0,1119	0,0772	0,1081
13 1	0,086	0,0972	0,0894	0,0880	0,0887	0,0873	0,0922	0,0775	0,0876	0,1053	0,0753	0,0991
14 9	0,081	0,0953	0,0918	0,0877	0,0871	0,0926	0,0855	0,0881	0,0852	0,1017	0,0795	0,0836
15 8	0,095	0,1012	0,0924	0,0815	0,0818	0,0852	0,0911	0,0849	0,0839	0,0797	0,0663	0,0892
16 8	0,082	0,1064	0,0952	0,0816	0,0777	0,0843	0,0873	0,0788	0,0878	0,1034	0,0713	0,0909
17 7	0,105	0,1024	0,0936	0,0776	0,0763	0,0815	0,0875	0,0818	0,0845	0,0761	0,0705	0,0891
18 0	0,083	0,1086	0,0863	0,0892	0,0755	0,0797	0,0944	0,0860	0,0875	0,1005	0,0685	0,0941
19 0	0,085	0,1094	0,0906	0,0894	0,0787	0,0830	0,0925	0,0903	0,0851	0,1106	0,0659	0,0935
20 8	0,079	0,0995	0,0863	0,0768	0,0742	0,0817	0,0859	0,0859	0,0880	0,1062	0,0732	0,0919
21 7	0,079	0,0992	0,0963	0,0855	0,0740	0,0823	0,0867	0,0859	0,0822	0,0963	0,0642	0,0899
22 5	0,094	0,1042	0,0993	0,0844	0,0903	0,0819	0,1005	0,0960	0,0891	0,1065	0,0695	0,0913
23 4	0,081	0,0944	0,0996	0,0767	0,0766	0,0813	0,0953	0,0949	0,0855	0,0976	0,0652	0,0869
24 3	0,108	0,1048	0,0910	0,0805	0,0809	0,0798	0,0872	0,0839	0,0855	0,0716	0,0651	0,0803

³³ 24 turnos de trabalho correspondem aproximadamente a 1,5 semanas de produção, tempo suficiente para que todas as fontes de variação do processo se manifestem.

Se se considerar cada amostra como as medições realizadas em um turno, então, cada linha da tabela corresponderia a um subgrupo.

Para realização da capacidade deve-se verificar se o processo está sob estado de controle estatístico. Como o tamanho da amostra é igual a 12, para avaliação da estabilidade a carta de controle utilizada poderia ser uma carta \bar{X} -S:

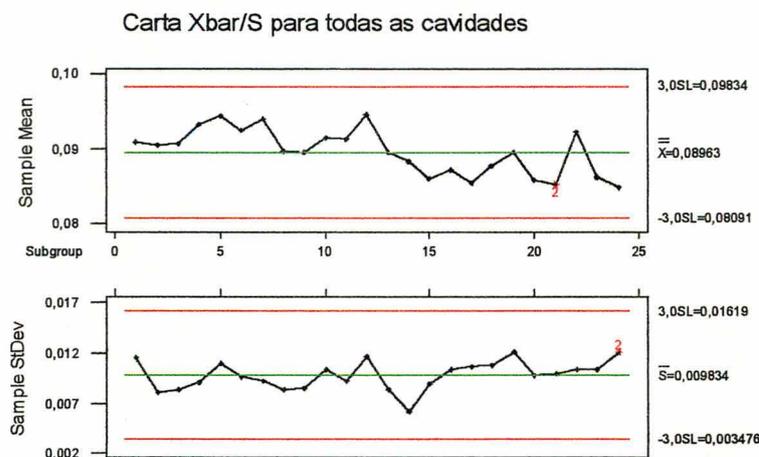


Figura 33 – Carta para todas as cavidades (MINITAB 1998)

Apesar de não existirem pontos fora dos limites de controle existem indícios que causas especiais estejam atuando no processo. Os pontos identificados na carta \bar{X} e S com o número 2 significa que existe uma seqüência de 9 ou mais pontos acima ou abaixo da linha média. Entretanto, como se sabe que houve uma formação inadequada de subgrupos racionais, para efeitos apenas de demonstração, o processo será considerado com estável.

O próximo passo é a análise da normalidade da distribuição dos pontos. Essa etapa é importante pois para o cálculo dos índices de capacidade se utiliza o parâmetro σ , que é estimado a partir do valor médio de S que depende dos dados individuais de cada amostra. O teste de normalidade realizado foi o Kolmogorov-Smirnov (MINITAB, 1998, p. 1.37-1.40). As seguintes hipóteses foram estabelecidas:

H_0 : os dados seguem uma distribuição normal

H_1 : os dados não seguem uma distribuição normal

Foi estabelecido como nível de significância um valor de $\alpha = 0,05$. Logo se o valor “*p-value*” indicado pelo Minitab for menor que 0,05 a hipótese H_0 deve ser rejeitada.

Teste de normalidade para todas as cavidades

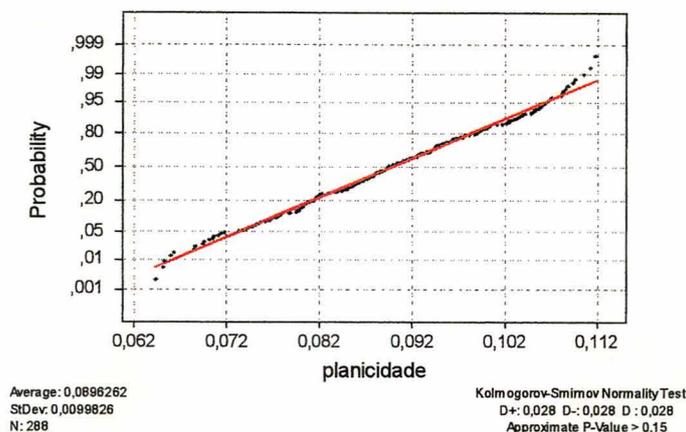


Figura 34 – Teste de normalidade para todas as cavidades (MINITAB 1998)

Como o valor da probabilidade “p” é maior que 0,05 (nível de significância) considera-se que a distribuição dos dados é aproximadamente normal. Logo, as expressões para cálculo dos índices de capacidade válidas para a distribuição normal podem ser empregadas.

Assim, para a estimativa do desvio padrão σ será utilizada a expressão:

$$\sigma = \bar{S} / c_4$$

Como a especificação do característico de qualidade é unilateral, para o cálculo dos índices de capacidade será utilizada a expressão³⁴:

$$C_p = C_{pk} = (\text{LSE} - \bar{X}) / 3\sigma$$

A figura a seguir apresenta o histograma dos valores:

³⁴ Quando a especificação é unilateral não tem sentido falar em diferenças entre C_p e C_{pk} . É importante ressaltar que quando se diz que C_p é igual a C_{pk} , em especificações unilaterais, não se está querendo dizer que o processo está centrado.

Capacidade do processo para todas as cavidades

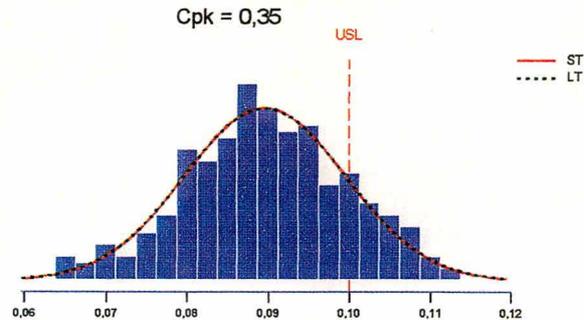


Figura 35 – Cálculo de capacidade para todas as cavidades (MINITAB 1998)

Como pode ser observado o valor de C_{pk} (0,35) está muito aquém da referência geralmente utilizada na indústria de 1,33. No histograma anterior existem muitos valores que ultrapassam o limite superior de especificação. Supondo que os subgrupos tivessem sido formados adequadamente, não seria indicado se utilizar cartas de controle para esse valor de C_{pk} . O passo seguinte seria descobrir porque o processo é incapaz e executar as contramedidas pertinentes. Uma nova avaliação deveria ser então conduzida para se verificar se a capacidade do processo melhorou o suficiente para que o mesmo possa ser controlado com uma carta de controle.

Avaliação da capacidade considerando a formação adequada de subgrupos racionais

Nesse caso cada subgrupo é a medição individual de uma peça em um turno. Assim por turno teríamos 12 amostras distintas, uma para cada cavidade. Para efeito de demonstração serão calculados os índices de capacidade apenas para a cavidade 1.

Como hipótese inicial considera-se que o processo está sob estado de controle estatístico, isto é, não existem causas especiais atuando sobre o processo. Isso pode ser verificado pela construção de uma carta X-Am (individuais amplitude móvel). No entanto, como essa carta é extremamente sensível a hipótese de normalidade dos dados vamos inicialmente realizar o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov:

Teste de normalidade para a cavidade 1

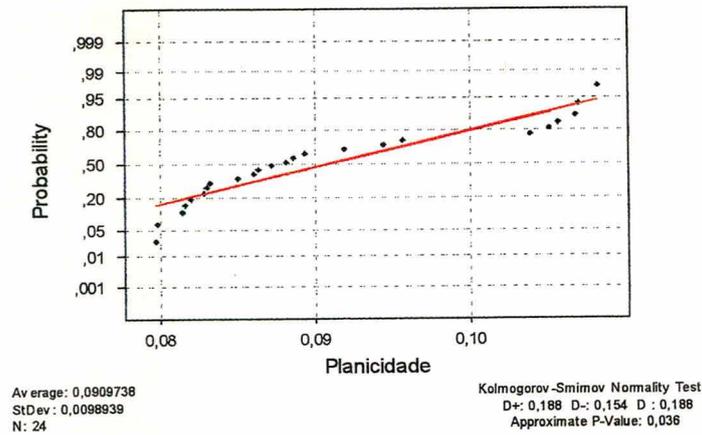


Figura 36 – Teste de normalidade para a cavidade 1(MINITAB 1998)

Como o valor da probabilidade “p” é igual a 0,036 (menor que 0,05) a distribuição não pode ser considerada como aproximadamente normal. Uma das saídas é transformar os dados pela Transformação Box-Cox em uma distribuição que seja aproximadamente normal (MINITAB,1998):

$$x = y^\lambda$$

Box-Cox Plot for Planicidade

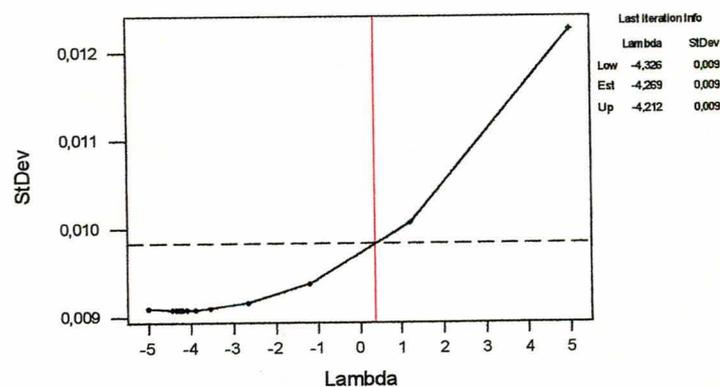


Figura 37 – Transformação Box-Cox para cavidade 1 (MINITAB 1998)

Um valor adequado para o parâmetro λ da transformação Box-Cox estaria em torno de $-4,269$. Utilizando uma carta X-Am para os dados transformados:

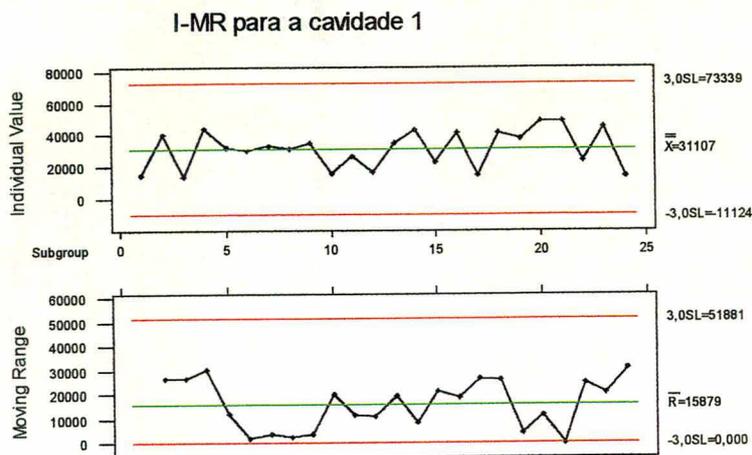


Figura 38 – Carta X-Am para cavidade 1 (MINITAB 1998)

Como pode ser observado o comportamento do processo é aleatório, isto é, o processo pode ser considerado sob estado de controle estatístico. Logo, a avaliação da capacidade de processos pode ser conduzida.

Existem duas formas de se calcular os índices de capacidade. Utilizando um primeiro método os índices de capacidade serão calculados a partir de dados transformados através da transformação Box-Cox:

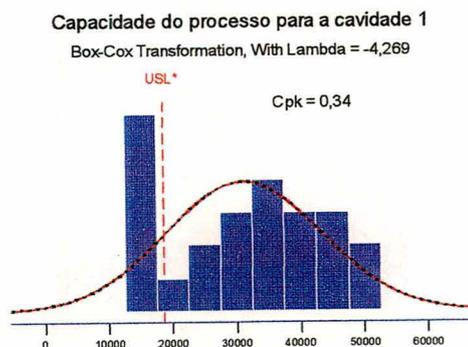


Figura 39 – Cálculo da capacidade para cavidade 1 utilizando dados transformados (MINITAB 1998)

Pode ser observado que o valor de C_{pk} igual a 0,34 está aquém da referência de 1,33. Um outro método de se calcular o índice de capacidade C_{pk} é o de ajustar à distribuição do processo uma curva de Weibull. Utilizando o software Minitab³⁵ obtém-se:

³⁵ Para avaliação de capacidade de processos cujas distribuições não são normais, o *software* Minitab considera o desvio padrão “S” como estimador do desvio padrão do processo “ σ ”. (o estimador R/d_2 ou S/c_4 não é considerado)

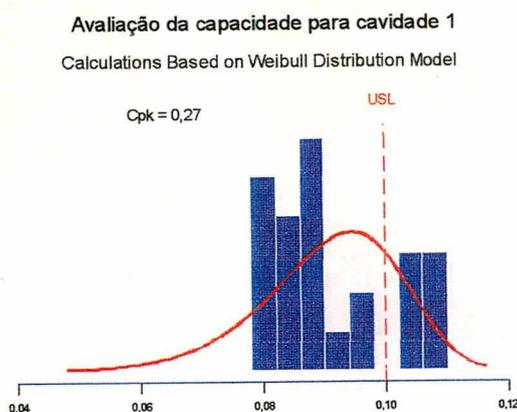


Figura 40 – Cálculo da capacidade para a cavidade 1 (MINITAB 1998)

Como pode ser observado o valor de C_{pk} (0,27) está também aquém do valor referência de 1,33. Além disso a curva de Weibull não está bem ajustada a curva real do processo. Logo, independente do método utilizado para o cálculo do índice de capacidade não seria indicado se utilizar cartas de controle para esse processo. Uma investigação deve ser realizada para descobrir quais os fatores que fazem com que o processo não seja capaz. Uma nova avaliação deveria ser realizada para se verificar se a capacidade do processo após a implantação de ações corretivas melhorou o suficiente para que o característico de qualidade possa ser controlado com uma carta de controle.

Até esse ponto o principal objetivo era demonstrar como a formação inadequada de subgrupos racionais pode levar à conclusões erradas. Quando se considera todas as cavidades sem distinção obtêm-se um C_{pk} igual a 0,35. Quando se calcula o C_{pk} apenas para a cavidade 1 tem-se um C_{pk} igual a 0,34 ou 0,27, dependendo do método. Apesar de ambos os valores não serem adequados, foi possível observar como a formação inadequada de subgrupos racionais leva a valores diferentes de índices de capacidade. Uma outra diferença é que quando se mistura os dados de todas as cavidades, a distribuição do processo, para esse exemplo, é aproximadamente normal. Esta é uma outra conclusão inadequada, pois têm-se em um mesmo conjunto de dados valores que são de processos diferentes. Os erros embutidos no cálculo de índices de capacidades, utilizando-se as expressões válidas para a curva normal, quando na realidade a distribuição do processo não é normal, serão vistos no tópico seguinte.

Avaliação da capacidade considerando a distribuição normal quando na realidade a distribuição do processo não é normal.

Conforme já dito anteriormente as expressões tradicionais de C_p e C_{pk} foram desenvolvidas para a distribuição normal. Quando a distribuição do processo não o é, muitos erros podem ser embutidos nas estimativas desses índices. Na prática é muito

comum se calcular os índices de capacidade sem se levar em consideração a distribuição que governa os dados do processo. Essa evidência foi constatada durante as visitas nas empresas consideradas para realização desse trabalho.

Um exemplo dos erros que podem estar sendo acrescentados ao cálculo pode ser observado com o cálculo do C_{pk} para a cavidade 1:

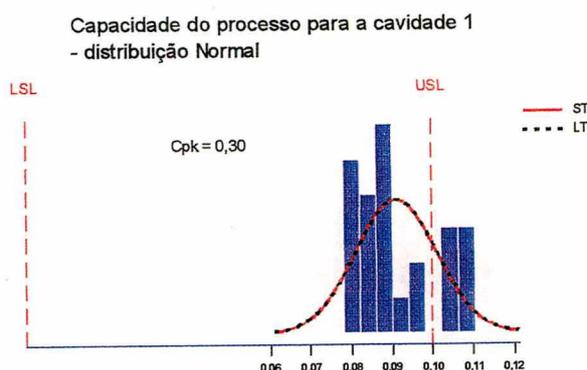


Figura 41 – Cálculo da capacidade considerando distribuição normal (MINITAB 1998)

Como pode ser observado no histograma a distribuição do processo não se aproxima de uma distribuição normal. A não normalidade da distribuição foi comprovada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov realizado para a cavidade 1. O índice de C_{pk} obtido para a distribuição normal é de 0,30 enquanto para a de Weibull é de 0,27. Apesar da diferença ser relativamente pequena o objetivo foi demonstrar que é completamente inadequado calcular os índices de capacidade sem se levar em consideração a distribuição do processo. Esta diferença de 10% entre os índices pode ser agravar em outros exemplos. Logo, é importante sempre estar atento a esta questão da normalidade dos dados.

5.2.6 – Critérios para seleção das cartas de Shewhart para o controle do processo

Se o processo for considerado estável e capaz, o mesmo está apto a ser controlado estatisticamente. Para tanto, deve-se selecionar o tipo de carta de controle a ser utilizada para que o controle seja efetivamente aplicado. Eventualmente os modelos de cartas de controle utilizados para avaliação da estabilidade podem ser os mesmos a serem utilizados para o gerenciamento de processos. No entanto, dependendo das características de cada processo, outros modelos podem ser selecionados.

Além de depender das características intrínsecas de cada processo, a seleção da carta mais apropriada também depende do tamanho e frequência de amostragem. De forma geral, como será apresentado no item 5.2.7, não existe uma única solução para o tamanho e frequência de amostragem. Logo, em outras palavras, deve-se definir o recurso estatístico que melhor se ajuste a realidade do processo levando-se em consideração principalmente os aspectos práticos e econômicos envolvidos (viabilidade técnica de retirada de amostras,

custos das amostras, etc.). Em alguns casos a experiência proveniente da avaliação da estabilidade pode ser bastante útil. Logo, o procedimento para seleção de recursos estatísticos que se segue é constituído apenas de recomendações gerais que podem ser levadas em consideração durante a seleção das cartas de controle. A figura a seguir procura fornecer uma visão geral do fluxo de seleção de cartas de controle:

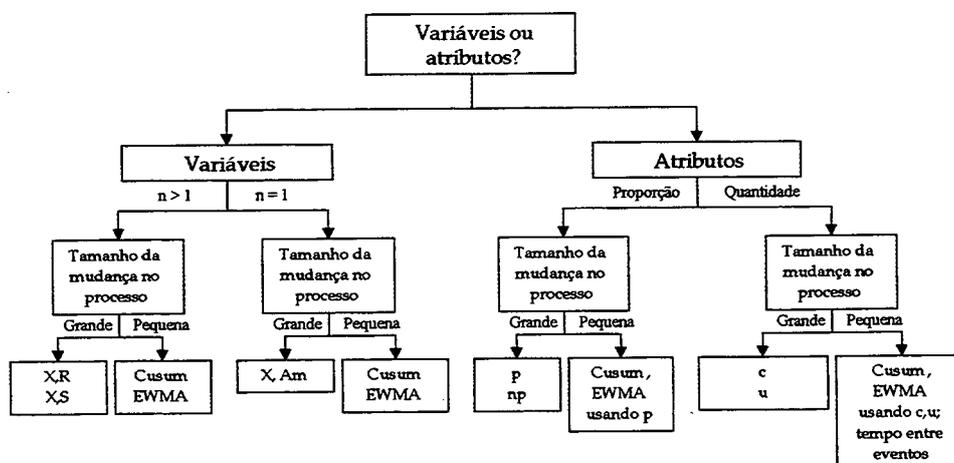


Figura 42 – Fluxo para seleção da carta de controle para controle do processo (MONTGOMERY, 1991, p.350)

A figura anterior engloba, além dos modelos de Shewhart, outras cartas de controle. Na seqüência desse texto serão tecidos alguns comentários acerca dos principais modelos destacados no fluxo.

Os métodos de cálculo dos limites de controle para as cartas a serem descritas a seguir podem ser encontrados em diversos livros que abordam o tema “controle estatístico de processos”. Uma referência adequada é o livro “Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos”. (WERKEMA, 1995b, p. 197-274)

5.2.6.a - Cartas por variáveis

Carta X-Am

Essa carta é utilizada quando o tamanho da amostra é igual a uma unidade. Alguns exemplos de aplicação são:

- processos homogêneos em que não faz sentido amostras com tamanho maior que uma unidade. Um exemplo é o controle de temperatura de um banho químico;
- quando se tem inspeção automatizada 100%;
- para processos cuja taxa de produção é baixa, não fazendo sentido acumular resultados ao longo do tempo para a avaliação da estabilidade do processo;
- quando o tamanho de amostra maior que uma unidade for economicamente inviável.

Carta \bar{X} -R

Essa carta é principalmente escolhida quando o tamanho da amostra se situar entre 2 e 9 unidades. Das cartas de controle por variáveis essa é a mais freqüentemente aplicada na indústria. Invariavelmente o tamanho da amostra se situa em torno de 4 ou 5 unidades. Na prática o tamanho da amostra deve ser determinado com base na capacidade de detecção de mudanças. (ver item 5.2.7 – Tamanho e freqüência de amostragem para cartas de Shewhart)

No entanto, a medida que “n” aumenta diminui a sensibilidade da amplitude R como estimador do desvio padrão do processo σ . Montgomery demonstra que para valores de “n” próximos de 10, a amplitude já perde significativamente sua sensibilidade como estimador (MONTGOMERY, 1991, p. 204). A tabela abaixo apresenta a “eficiência relativa” do estimador R em função do tamanho da amostra “n”:

Tabela 6 – Eficiência relativa do estimador R (MONTGOMERY, 1991,p. 204)

n	Eficiência relativa
2	1,000
3	0,992
4	0,975
5	0,955
6	0,930
10	0,850

Carta \bar{X} -S

Esta é uma opção para a carta \bar{X} -R quando tamanho de amostra é maior ou igual a 10. Na prática esse modelo de carta de controle não é freqüentemente utilizado, pois muitas vezes as amostras desse tamanho são inviavelmente econômicas. No entanto, assim como para a carta \bar{X} -R o tamanho da amostra deve ser calculado com base na capacidade de detecção de mudanças no processo, como será visto no item 5.2.7.

5.2.6.b - Cartas por atributos

Carta p

A carta de controle “p” é utilizada quando o característico de qualidade de interesse é representado pela proporção de itens defeituosos produzidos. Alguns exemplos são:

- Percentual de componentes elétricos defeituosos produzidos em uma hora de produção;
- Percentual de pistões com diâmetro fora do especificado produzidos em um turno de trabalho.

Carta c

A carta “c” é utilizada quando se deseja controlar o número total de defeitos em uma unidade do produto. Alguns exemplos são (WERKEMA, 1995, p. 258-259):

- Número de quebras de uma ferramenta durante um mês de trabalho de uma indústria;
- Número de riscos em uma chapa metálica;
- Número de soldas defeituosas em um aparelho de rádio;
- Número de defeitos em 100m de uma tubulação.

Carta u

A carta “u” tem a mesma aplicação da carta “c”. A única diferença é que o tamanho de amostra para a carta “u” é maior do que uma unidade. Assim um exemplo seria o controle do número de riscos em duas chapas metálicas. Logo, para esse caso o tamanho de amostra é de 2 unidades.

5.2.6.c - Diferenças básicas entre as cartas por variáveis e por atributos

Muitas vezes a seleção de uma carta por atributos ou por variáveis é uma tarefa extremamente rápida. A própria definição do característico de qualidade pode ser suficientemente clara. Outras vezes a definição pode não ser tão óbvia. Nesses casos é melhor levar em consideração alguns fatores na seleção da melhor carta (MONTGOMERY, 1991, p. 246-247).

As por atributos oferecem a vantagem de se poder em uma única carta se controlar mais de um característico da qualidade, pois a medição consiste em verificar se o mesmo está ou não dentro da tolerância especificada. Por outro lado uma carta por variável exige geralmente uma medição mais complexa e mais cálculos. Basicamente para cada característico selecionado é necessário um conjunto de cartas de controle (na realidade são duas cartas: uma para controle da média e outra para controle da dispersão). Logo, sob o ponto de vista prático, as cartas por atributos são mais fáceis de serem manuseadas e apresentam, em geral, um menor custo de medição. Entretanto deve-se considerar, ainda sob o ponto de vista do custo de amostragem, que as por variáveis exigem um menor tamanho de amostra, fato esse que dependendo das características do processo pode ser vantajoso (um exemplo são os processos que exigem medições destrutivas).

Em contrapartida, as cartas por variáveis apresentam muito mais informações dos que as por atributos. Informações específicas sob a média e a variabilidade do processo são obtidas diretamente. Logo, quando é detectada a presença de uma causa especial, muito mais informações se têm para determinação da causa. Além disso, sob o ponto de vista da avaliação da capacidade do processo, as cartas por variáveis também apresentam muito mais informações do que as cartas por atributos.

Entretanto, a principal vantagem das cartas por variáveis sobre as cartas por atributos é relativa ao controle do processo em si. As por variáveis permitem que ações **preventivas** sejam executadas antes que muitas peças defeituosas sejam produzidas. Já as por atributos permitem que ações **corretivas** sejam executadas após ter sido produzidas uma relativa quantidade de itens defeituosos. Isto é, as cartas por atributos supõem uma quantidade de itens defeituosos, enquanto as por variáveis não necessariamente.

5.2.6.d - Efeito da normalidade para as cartas de controle de Shewhart

As cartas de controle de Shewhart são estruturadas segundo os princípios que governam a distribuição normal. Se a distribuição dos dados de um processo não for normal todas as hipóteses e considerações sobre as cartas de controle não serão válidas. Logo, para as cartas de controle por variáveis de Shewhart os efeitos de violação da suposição da normalidade dos dados deve ser considerado. Dentre os modelos existentes, as cartas \bar{X} -R e \bar{X} -S são mais robustas quanto a normalidade. Isto se explica pelo Teorema Central do Limite:

“... a distribuição da média amostral \bar{X} , de uma amostra de tamanho n extraída de uma população NÃO-NORMAL, com média μ e desvio padrão σ , é aproximadamente normal com média μ e desvio padrão σ / \sqrt{n} . “ (WERKEMA, 1995, p. 165).

Na prática, subgrupos racionais de tamanhos da ordem de 4 ou 5 elementos já são suficientes para garantir que a distribuição amostral de \bar{X} possa ser aproximada de uma distribuição normal, para efeito de cálculo dos limites de controle. Isto é, os limites de controle para as cartas \bar{X} -R e \bar{X} -S são poucos afetados pela violação de suposição de normalidade a não ser que a população seja significativamente diferente da normal. (WERKEMA, 1995, p. 228).

No entanto, a carta X-Am é extremamente sensível a violação da suposição de normalidade. Nesse caso a regra do Teorema Central do Limite não se aplica. Logo, se a distribuição dos dados não forem normalmente distribuídos a carta X-Am não deve ser aplicada. Quando isto ocorrer duas alternativas são propostas (WERKEMA, 1995, p. 248):

- ou se determinam os limites de controle das cartas X-Am com base na verdadeira distribuição dos dados;
- ou as variáveis originais são transformadas em uma nova variável que seja aproximadamente normal.

5.2.6.e - Outros modelos de cartas de controle

Eventualmente se os dados de um processo não forem autocorrelacionados, outros modelos de cartas de controle, que não as convencionais de Shewhart, podem ser utilizados. A difusão desses outros modelos na indústria é bem menor que os modelos tradicionais. O principal motivo é a dificuldade de se realizar alguns cálculos adicionais necessários para a correta utilização dessas cartas. A seguir serão traçados breves comentários acerca dos principais modelos. Algumas referências bibliográficas para um maior aprofundamento do tema também serão indicadas.

Cartas de controle para detecção de pequenas mudanças no processo

As cartas de controle de Shewhart por variáveis são adequadas para detectar variações na média da ordem de $2,0\sigma$ ou mais. No entanto, se se interessa detectar

mudanças menores ($1,5\sigma$ ou menos), outras cartas de controle podem ser utilizadas desde que o processo esteja em estado de controle estatístico. Os principais modelos são:

- *cumulative-sum (or cusum) control chart, e*
- *EWMA control chart.*

Essas cartas, em relação as de Shewhart, são mais sensíveis a pequenas mudanças porque utilizam informações fornecidas por muitos pontos sequenciais do processo. (MONTGOMERY, 1991, p. 279-311).

Carta multivariável – Hotelling T^2 Chart

Esse modelo de carta se aplica quando se interessa controlar vários característicos por variáveis ao mesmo tempo. Uma situação prática seria o exemplo de uma máquina de usinagem multi-fuso. Basicamente, por vários lados da máquina são produzidas peças semelhantes. Se se fosse utilizar as cartas convencionais de Shewhart seria necessário um conjunto de cartas para cada saída da máquina. Com a aplicação da *Hotelling T^2 chart* uma única carta de controle é necessária para controlar mais de um característico de qualidade.

Esse modelo de carta de controle é adequado, sob o ponto de vista prático, para um número de até 3 característicos de qualidade. Montgomery também apresenta um roteiro para aplicação dessas cartas (MONTGOMERY, 1991, p. 322-332).

Cartas de controle para produções curtas

Algumas vezes o volume de peças produzidas é relativamente pequeno, não permitindo a adoção de uma método de controle pelas cartas convencionais. Para esses casos, as cartas X-R e cartas por atributos foram adaptadas para controle desses tipos de manufatura. Mais uma vez Montgomery apresenta um breve roteiro para aplicação dessas cartas (MONTGOMERY, 1991, p. 313 – 317)

Cartas de controle para eventos raros

Essas cartas são especialmente utilizadas quando a taxa de ocorrências de defeitos é muito baixa (WERKEMA, 1998, p. 1.70). O procedimento consiste em se controlar o tempo entre ocorrência sucessivas de defeitos em lugar de se controlar o número de defeitos. Eventualmente pode-se controlar também o número de peças boas entre unidades defeituosas.

Para o controle é utilizado uma carta para individuais X-Am. Como a variável de interesse “tempo entre ocorrências sucessivas de defeitos” é, frequentemente, regida por uma distribuição exponencial, é necessário transformá-la em uma variável normal. A transformação mais usual é:

$$x = y^{1/3,6} = y^{0,277}$$

Realizada a transformação o roteiro utilizado para a construção da carta X-Am deve ser seguido.

Demais modelos

Recentemente muitos estudiosos têm desenvolvido outros modelos de cartas de controle. Tais como os modelos apresentados anteriormente, esses surgem das restrições provenientes da aplicação das cartas de controle convencionais. Dentre as variações existentes destacam-se ainda as cartas controle de aceitação e as cartas controle com limites modificados. Vários livros de CEP trazem esses outros modelos específicos. (MONTGOMERY, 1991, p. 13-364).

5.2.7 – Tamanho e frequência de amostragem para cartas de Shewhart

Na prática, o tamanho e frequência de amostragem devem ser determinados simultaneamente, pois estes parâmetros estão diretamente relacionados com a capacidade de se detectar mudanças no processo.

5.2.7.a - Tamanho e frequência para características por variáveis

Para características por variáveis, sempre que possível, deve-se procurar adotar um tamanho de amostra constante, pois amostras de tamanhos variáveis geralmente são mais difíceis de serem controladas, devido a necessidade de cálculo dos limites de controle para cada amostra coletada.

Contudo, para determinação do tamanho de amostra, podem ser considerados 4 aspectos práticos:

1. Tempo de resposta e capacidade de inspeção

Um primeiro aspecto importante é a limitação quanto a capacidade dos meios de inspeção e testes. Quando necessário deve ser realizada uma análise técnica da capacidade dos meios de inspeção e testes, considerando:

- tempo de resposta: o tempo de resposta para análise dos dados e atuação no processo é diretamente proporcional ao tamanho de amostra. Quanto maior o tamanho da amostra maior será o tempo necessário para se obter os resultados das observações.
- capacidade de inspeção e teste: este item refere-se a disponibilidade (número) dos meios de medição e testes. Quanto menor a disponibilidade de meios de inspeção e testes menor deve ser o tamanho da amostra.

2. Taxa de produção

- Produção em alta escala: para linhas ou máquinas de produção em que é possível coletar amostras e atuar sobre os resultados sugere-se a adoção de pequenos tamanhos de amostra (da ordem de 4 ou 5 elementos), pois para aumentar a capacidade de detecção de mudanças no processo pode-se:

- Utilizar limites de atenção (*warning limits*): são limites dispostos a 1σ ou 2σ da linha de centro da carta de controle e servem como referência para aprimorar a detecção de estados fora-de-controle.
 - Aprimorar a análise de tendência: constitui o conjunto de caminhos não aleatórios possíveis que os pontos podem descrever para um determinado processo.
 - Aumentar a frequência de amostragem
- Produção em pequenos lotes ou produção de lotes rápidos³⁶: recomenda-se neste caso utilizar tamanhos de amostra maiores (da ordem de 20 elementos), uma vez que torna-se mais difícil aumentar a capacidade de detecção de mudanças no processo através do aumento na frequência de amostragem.

3. Custos de inspeção

Um tamanho de amostra adequado é aquele que determina um amostragem econômica. Quando possível e necessário deve ser estimados os seguintes custos, para que seja possível determinar as opções possíveis de tamanho de amostra:

- custo de inspeção e teste: neste item estão inclusos os custos de utilização dos meios de medição, custo de teste e custos de pessoal para medição e teste. Inclui-se neste item os custos referentes a existência ou não de testes destrutivos.
- custo de tratamento dos dados: este custo refere-se ao custo de pessoal e provável parada de produção para tratamento dos dados para posterior plotagem no recurso estatístico (cálculo de média, desvio padrão)

4. Erros estatísticos associados

Por último devem ser levados em consideração os erros estatísticos associados ao tamanho de amostra. Esses erros estão associados a capacidade de detecção de variações no processo pela carta de controle. Esses erros podem ser obtidos das curvas características de operação (CCO). Em geral quanto menor o tamanho da amostra e menor o tamanho da mudança que se deseja detectar, maior é o erro estatístico associado. Montgomery apresenta a CCO para uma carta \bar{X} com limites de controle 3 sigmas (Montgomery, 1991, p.227).

³⁶ Cartas específicas para produções em pequenas escalas (ou produções curtas) foram apresentadas anteriormente.

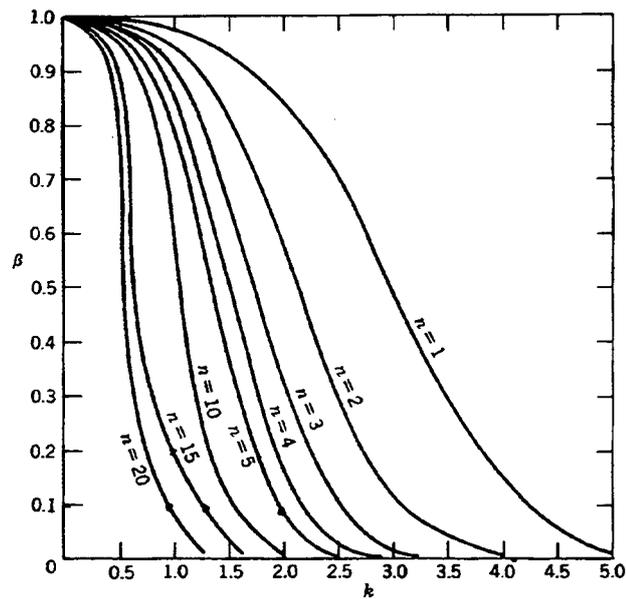


Figura 43 – Curvas características de operação para a carta de controle X com limites 3σ . (MONTGOMERY, 1991, p.227)

Nesta CCO, o fator “k” representa o número de desvios padrões em que a média pode variar num processo, enquanto o erro β é o risco ou probabilidade de não se detectar a mudança igual a $k\sigma$ unidades na média do processo na primeira amostra retirada após a ocorrência desta alteração. Como pode ser observado no gráfico, quanto menor o tamanho de amostra, menor é a sensibilidade de se detectar pequenas mudanças no processo.

A CCO para a carta R seria:

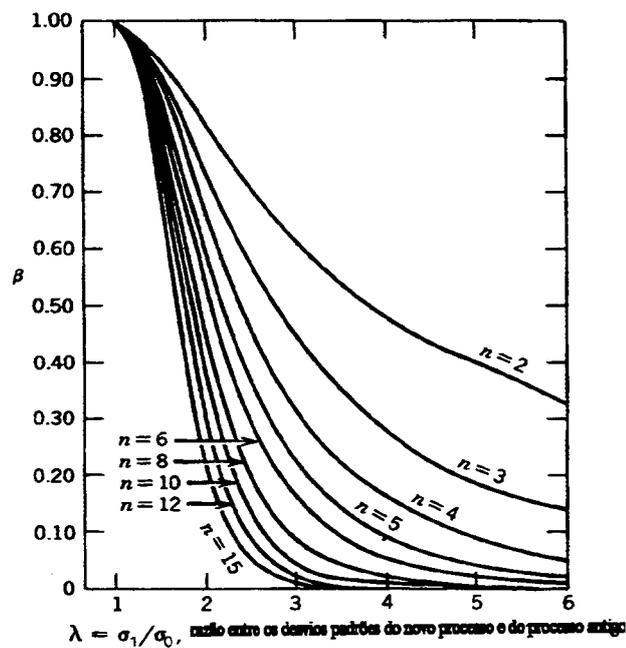


Figura 44 – Curvas características de operação para a carta de controle R com limites 3σ (MONTGOMERY, 1991, p.228)

Onde σ_0 é o desvio atual do processo e σ_1 é o desvio após a ocorrência da causa especial.

Enquanto estatisticamente a CCO é adequada para se determinar o tamanho da amostra, a frequência de amostragem são melhor determinadas pelo uso das curvas ARL – *Average Run Length* (comprimento médio da seqüência).

O ARL (Average run length) representa o número médio de amostras necessário para que seja detectada uma mudança após a mesma ter ocorrido no processo. O ARL depende do tamanho de amostra “n” e da dimensão da mudança “k” que se deseja detectar (número de desvios padrões que a média pode variar). A figura abaixo apresenta valores aproximados de ARL para detecção de mudanças “k σ ” na média do processo para uma carta X com limites 3 σ :

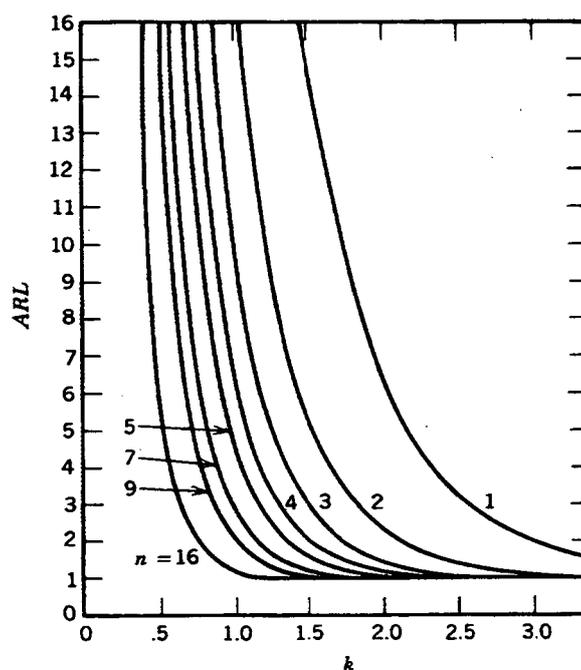


Figura 45 – ARL para a carta X com limites 3 σ . (MONTGOMERY, 1991, p. 230)

Assim com base no tamanho de amostra e na ordem de grandeza da mudança que se deseja detectar, é possível estabelecer a frequência de amostragem, que dependerá então das perdas associadas a se operar com o processo fora de controle estatístico.

As cartas ARL também permitem identificar a eficácia do tamanho de amostra selecionado. Como pode ser visto para se detectar mudanças moderadas ou grandes na média do processo (da ordem de 2 σ), na carta \bar{X} , tamanhos de amostras 4 ou 5 já são suficientes, desde que se deseje detectar a mudança já na amostra seguinte a mesma ter ocorrido. Na prática, a maioria das cartas \bar{X} utilizadas nas indústrias utilizam estes tamanhos de amostras, sem que se tenha noção da ordem de grandeza da mudança no processo que é possível ser detectada. No entanto, se o objetivo é detectar mudanças de menor magnitude será necessário utilizar tamanhos de amostras maiores ($n \geq 15$). A dificuldade maior reside no fato que, sob o ponto de vista prático, nem sempre tamanhos de

amostras dessa grandeza são possíveis de ser obtidos³⁷. Logo, a relação entre tamanho e frequência de amostragem é de extrema importância para determinação da capacidade do recurso estatístico em indicar a ocorrência de mudanças no processo. Em geral, quanto maior o tamanho e frequência de amostragem maior é esta capacidade de detecção de mudanças. Na prática, sob o ponto de vista econômico, adota-se preferencialmente tamanhos de amostra menores com frequências maiores, pois amostras coletadas de forma mais frequentes permitem detecção de mudanças mais rapidamente.

5.2.7.b - Tamanho e frequência para características por atributos

As cartas por atributos são mais flexíveis que as por variáveis quanto a utilização de tamanho de amostras constantes ou não. As cartas p e u são alternativas que permitem que sejam utilizados tamanhos de amostras variáveis sem que seja necessário o cálculo dos limites para cada amostra coletada. Em algumas situações, isto pode facilitar a retirada de amostras.

Carta p

A carta “p” é regida pela distribuição binomial. Essa distribuição é adequada para caracterizar uma população cujos elementos podem ser classificados como atributos, tais como sucesso ou falha, conformes ou não conformes. Logo, a distribuição binomial é adequada para caracterizar processos cujos característicos de qualidade são expressos pelo percentual de itens não conformes.

As cartas por variáveis são regidas pela distribuição normal. Portanto, os limites de controle 3σ são calculados com base nas propriedades dessa distribuição. As regras para identificação de comportamento não aleatórios são também estabelecidas com base nas características dessa distribuição. Logo, para que essas regras sejam também válidas para a carta “p” é importante respeitar o critério de aproximação normal para a distribuição binomial (WERKEMA, 1995, p. 248-254). Isto é, as propriedades da distribuição normal podem ser estendidas para a binomial desde que:

$$\begin{aligned} n.p &> 5, \text{ e} \\ n.(1-p) &> 5 \end{aligned}$$

onde “p” é o percentual médio de itens não conformes para o característico de qualidade em questão.

Assim, o fator que condiciona o estabelecimento do tamanho de amostra para a carta p é a condição de aproximação da normal para a binomial.

Alguns autores têm proposto outros métodos para determinação do tamanho de amostra. Esses podem ser seguidos desde que as condições $n.p > 5$ e $n.(1-p) > 5$ sejam respeitadas. Uma primeira abordagem é proposta por Montgomery (MONTGOMERY, 1991, p.160-161). Nessa proposta o tamanho da amostra deve ser tal que se tenha uma chance de 50% de se detectar uma variação igual a δ . Logo:

³⁷ Como será visto para detecção de mudanças no processo de menor magnitude existem outros modelos de cartas de controle específicos.

$$n = (3/\delta)^2 \times p(1-p)$$

Assim, se p for igual a 0,01 e δ for igual a 0,04, tem-se um tamanho de amostra “ n ” igual a 56 unidades. No entanto, como $n.p$ é menor que 5, esse critério não é válido para esse exemplo. Como n é igual a 0,01 o tamanho mínimo da amostra deve ser 500 unidades.

Outro critério semelhante para determinação do tamanho de amostra é também proposto por Montgomery (MONTGOMERY, 1991, p.161).

Quando as cartas de controle são baseadas em inspeção 100% tanto o tamanho quanto a frequência de amostragem são definidos pela taxa de produção.

A melhor situação é quando o tamanho da amostra “ n ” é fixo. Na prática isto nem sempre é possível. Logo, a carta “ p ” para “ n ” variável pode ser aplicada quando a variação do tamanho da amostra for menor ou igual a 25%. (JURAN, 1986, p.24.20)

O tamanho da amostra também tem um limite superior. Dependendo do percentual médio de itens não conformes “ p ”, tamanhos de amostras relativamente grandes podem estreitar significativamente os limites de controle de forma que o número de falsos alarmes aumente significativamente. Isto é, podem ocorrer muitos pontos fora dos limites de controle e se concluir que o processo está fora do controle estatístico, quando na realidade o processo está sob estado de controle. Esse fato ocorre devido a fórmula utilizada para os cálculos dos limites de controle:

$$LC = p \pm 3\sqrt{p(1-p)/n}$$

Assim, se “ n ” for suficientemente grande os limites de controle poderão ser apertados. Logo, é importante verificar empiricamente essa condição para cada característico de qualidade. Para esses casos Heimann propõe uma forma alternativa de se controlar o processo. O procedimento resume-se em utilizar como alternativa uma carta para individuais. Informações mais detalhadas sobre esse procedimento podem ser encontradas no artigo “*Attributes control charts with large sample sizes*” (HEIMANN, 1996, p. 451-459)

Para frequência de amostragem a regra básica é que as amostras não devem ser muito espaçadas, pois caso contrário variações no processo ocorrer sem que sejam detectadas. Esse critério é empírico e deve ser ajustado para a realidade de cada processo.

Carta c e carta u

A distribuição que rege a carta “ c ” e a carta “ u ” é a de Poisson. Essa distribuição é apropriada para caracterizar um processo cujo característico da qualidade de interesse seja a ocorrência de eventos em um intervalo de tempo ou em uma unidade de espaço (comprimento, área ou volume) (WERKEMA, 1995b, p. 259).

Estatisticamente a determinação do tamanho da amostra decorre da utilização do conceito de limites 3σ . Esse conceito baseia-se na hipótese da aproximação pela normal.

Neste contexto a aproximação seria caracterizada pela simetria da distribuição de Poisson. (MYERS & WALPOLE, 1989, p. 677). Assim, o tamanho da amostra é governado pela simetria da distribuição. Entretanto, para que o limite da simetria seja respeitado é importante que o parâmetro λ da distribuição de Poisson seja relativamente grande. Werkema demonstra que quanto maior o tamanho de λ mais simétrica é a distribuição (WERKEMA, 1995b, p. 258 - 260). No caso específico da carta "c" o parâmetro λ é o número de defeitos encontrados "c". Para valores de λ maior ou igual a 5 a distribuição já pode ser considerada simétrica.

Tal como para a carta "p" para a frequência de amostragem a regra básica é que as amostras não devem ser muito espaçadas. Esse critério deve ser ajustado para a realidade de cada processo.

Tanto para a carta "p", quanto para a "c" ou "u", alguns softwares estatísticos disponíveis no mercado já levam em consideração algumas aproximações estatísticas. Contudo, é importante estar atento para as considerações realizadas em cada software, com o objetivo de evitar erros estatísticos grosseiros.

O objetivo principal desse item 5.2 do presente capítulo foi demonstrar o método de avaliação da viabilidade estatística de se aplicar cartas de controle. O método proposto é composto de diversas ferramentas: mapa de processo, formação de subgrupos racionais, avaliação de sistemas de medição, cartas de controle, índices de capacidade, entre outras. Logicamente a metodologia não é rígida e deve ser adaptada à realidade de cada processo. O item mais importante é o método, as ferramentas podem ser adicionadas ou não utilizadas, em acordo com a situação que se estiver analisando. Resumidamente, sob o ponto de vista estatístico, para que uma carta de controle possa ser utilizada como ferramenta de controle é necessário que os seguintes requisitos sejam atendidos:

- o sistema de medição deve ser capaz
- o processo deve ser estável (estar sob estado de controle estatístico)
- o processo deve ser capaz de atender às especificações de projeto.

Uma vez verificado que a carta de controle pode ser aplicada ao processo, deve-se passar a etapa de gerenciamento estatístico do processo. Os detalhes da metodologia de gerenciamento serão apresentados no item 5.3, a seguir.

5.3 – Gerenciamento de processos: estabelecimento da rotina

Após realização das etapas anteriores é necessário realizar o gerenciamento da variabilidade do processo com o auxílio das ferramentas estatísticas. O conjunto de atividades de gerenciamento é a prática do controle estatístico de processo propriamente dito. Essas atividades podem ser sistematizadas e definidas como o gerenciamento da rotina através de técnicas estatísticas. Por rotina entende-se o conjunto de atividades padronizadas para garantir o atingimento de uma meta.

Definir as atividades que são necessárias tanto para manutenção quanto para melhoria da variabilidade de um processo é uma etapa essencial. A delegação definitiva do CEP para a fabricação somente deve ocorrer depois que todas as pessoas estejam treinadas nos sistemas de ações corretivas destinados a eliminação e/ou redução das fontes de variação que atuam sobre o processo. A inexistência de um sistema estruturado de investigação, planejamento, execução e acompanhamento de ações corretivas estruturado pode levar um programa de CEP a “bancarrota”.

O estabelecimento dessa rotina é baseado nos tipos de causas que afetam o estado de controle estatístico de um processo. Conforme já apresentado são estas:

- causas especiais
- causas comuns

Enquanto manutenção da variabilidade de um processo é obtida através da remoção das causas especiais que atuam sobre o processo, a melhoria da variabilidade somente é alcançada com a redução das causas comuns. Enquanto a eliminação do primeiro grupo de causas é de responsabilidade daqueles que utilizam diretamente o recurso estatístico na fábrica, a redução do segundo grupo é de responsabilidade da administração, isto é, dos gerentes, supervisores, engenheiros e técnicos que trabalham no processo. A forma de gerenciamento em que as atividades são organizadas tanto para manutenção quanto para melhoria da variabilidade é denominado “gerenciamento da rotina”.

Para o estabelecimento do gerenciamento da rotina é necessário entender das etapas que o compõem, ou seja, o gerenciamento para manter e para melhorar.

Um modelo apropriado para o estabelecimento da rotina do CEP é o “Método de Gerenciamento de Processos” (CAMPOS, 1994b, p.195). Esse método é também denominado ciclo PDCA, isto é, PLAN-DO-CHECK-ACTION ou PLANEJAR-EXECUTAR-VERIFICAR-AGIR. O ciclo PDCA pode ser observado na figura a seguir:

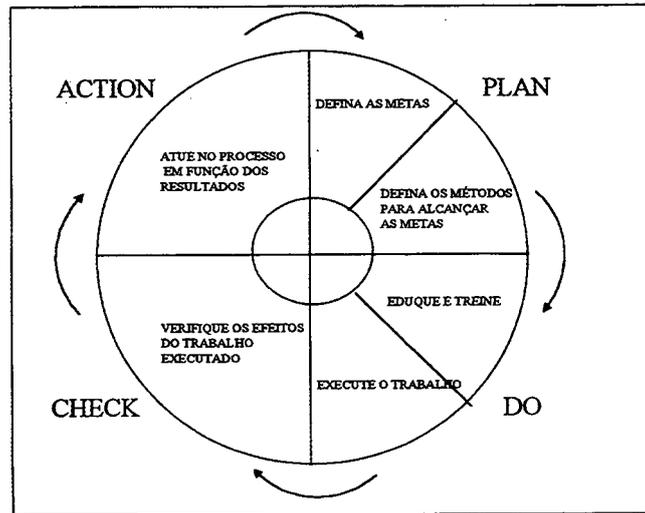


Figura 46 – Ciclo PDCA

Este ciclo é didaticamente dividido em 2 métodos de gestão, o SDCA e o PDCA, que na trilogia Juran corresponderia as etapas de controle e de melhoria da qualidade respectivamente. Enquanto o SDCA é o gerenciamento para manter o desempenho de um processo, o PDCA é o gerenciamento para melhorar este desempenho:

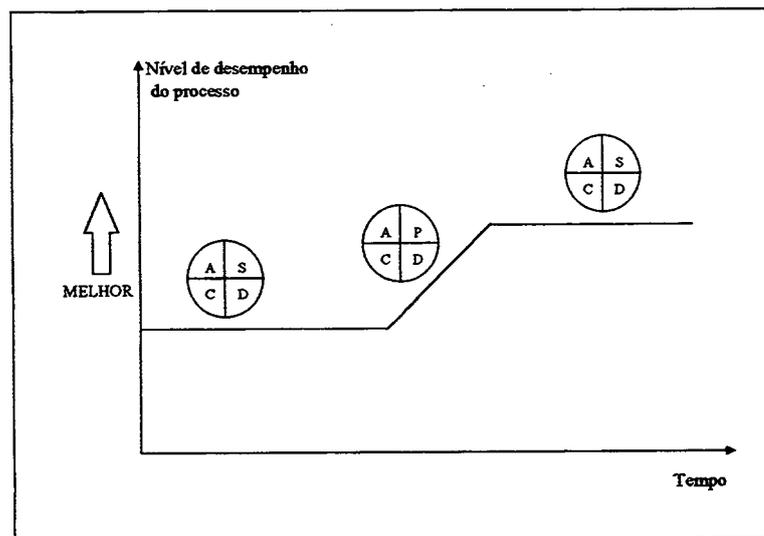


Figura 47 – Ciclos SDCA e PDCA no gerenciamento de processos

O controle para manter - SDCA (STANDARD-DO-CHECK-ACTION) é composto pelas atividades necessárias para atingir as metas padrão:

“ Você pode desejar entregar um certo relatório sempre no dia 5 do mês seguinte; ou fabricar um produto sempre com as mesmas dimensões, etc. Estes tipos de metas são metas para manter...Estas metas para manter podem ser também chamadas de metas padrão. Teríamos então qualidade padrão, custo padrão, prazo padrão, etc. ...As metas padrão são atingidas através de operações padronizadas. Portanto o plano para se atingir a meta é o Procedimento Operacional Padrão (standard) ” (CAMPOS; 1994b; p.194)

Na linguagem do CEP o controle para manter é constituído pelas atividades necessárias para manter o processo dentro dos limites de controle estabelecidos. É o controle dito operacional que constitui-se da detecção, investigação e eliminação das causas especiais do processo.

Já o controle para melhorar – PDCA é constituído pelas atividades necessárias para atingir as metas para melhorar.

”Por exemplo: reduzir os custos em 5% até agosto de 1995; aumentar a produção em 8% até dezembro de 1994, etc. estes tipos de metas são metas para melhorar. ... Para se atingir novas metas, ou novos resultados, devemos modificar a maneira de trabalhar, ou seja, modificar os Procedimentos Operacionais Padrão.” (CAMPOS;1994b;p.196).

O controle para melhorar na linguagem do CEP são as atividades necessárias para reduzir variabilidade do processo, que constitui-se da redução das causas comuns que atuam sobre o processo.

Portanto, para o estabelecimento da rotina 3 etapas são importantes:

- A – desenho das etapas, isto é, da seqüência de atividades do controle para manter e do controle para melhorar;
- B - determinação das responsabilidades e autoridades por cada etapa;
- C - treinamento e capacitação dos envolvidos na rotina;

Preliminarmente é importante observar que cada organização deve adaptar as etapas do controle para manter e para melhorar, bem como definir as responsabilidades e autoridades sobre estas etapas em função de sua arquitetura organizacional (cargos e funções), e da maturidade de suas pessoas (conhecimento e motivação)

5.3.1 - Determinação das etapas do controle para manter (SDCA)

A figura abaixo demonstra conceitualmente a seqüência de atividades do controle para manter:

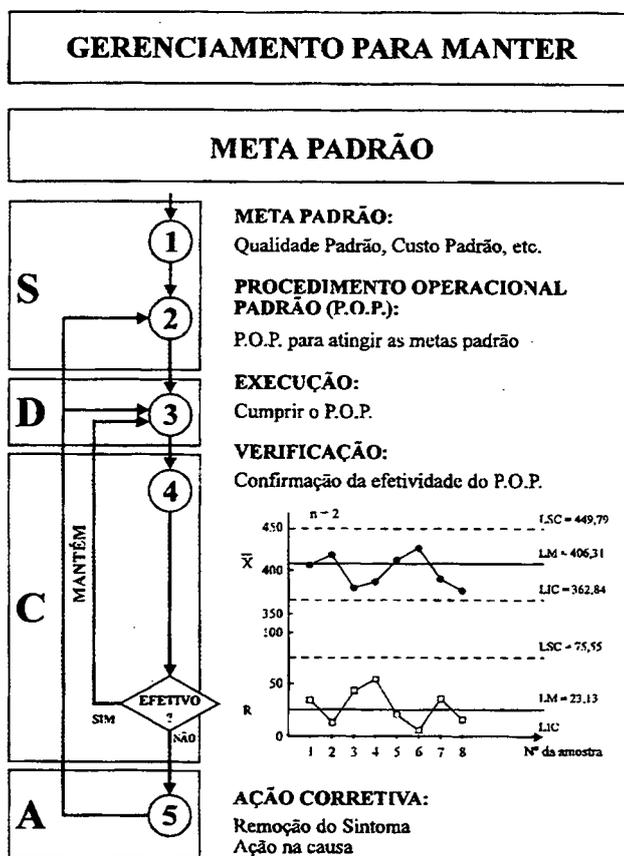


Figura 48 - Controle para manter (CAMPOS, 1994, p. 197)

- Etapa S (STANDARD): o Procedimento Operacional Padrão (POP) estabelece o método de trabalho que deve ser executado para atingir as metas padrão estabelecidas.
- Etapa D (DO): nesta etapa os operadores devem executar suas tarefas conforme o Procedimento Operacional Padrão.
- Etapa C (CHECK): nesta os operadores de frente de linha devem coletar amostras, anotar os dados, analisá-los e concluir a condição de estabilidade do processo, isto é, verificar se existem causas especiais atuando sobre o processo. Para realizar esta análise é utilizado o recurso da carta de controle.
- Etapa A (ACTION): nesta fase são tomadas as ações corretivas para manter o processo dentro dos limites de controle desejáveis. O sistema de ações corretivas no CEP é uma das etapas mais importantes no gerenciamento de processos. As ações corretivas no

gerenciamento para manter (SDCA) são ações operacionais, isto é, são ações que devem ser tomadas por aqueles que estão controlando diretamente o processo com a carta de controle. Através da análise destas ferramentas podem ser identificadas duas situações:

Situação 1 - causas comuns no processo: se apenas causas comuns estiverem atuando sobre o processo os operadores devem manter o processo em operação, isto é, continuar cumprindo o “Procedimento Operacional Padrão”.

Situação 2 - causas especiais no processo: se causas especiais estiverem atuando sobre o processo os operadores devem investigá-las e tomar ações de correção que tiver no seu escopo, isto é, que forem de seu conhecimento. Neste sentido, Shainin (1992, p. 254) ressalta que:

“O operador deve ter autoridade para ajustar o processo quando avisado pelo CEP. É bastante comum em algumas indústrias se exigir que o operador peça permissão a supervisão para atuar no processo. A confiança da gerência é retribuída com uma quantidade igual de motivação. Em indústrias de alta tecnologia freqüentemente os operadores têm que avisar a um técnico especializado sobre a necessidade de ajustar um processo complexo. E quando ninguém realmente entende o processo, é muito mais confortável para o gerente ter um técnico especializado tentando ajustar o processo por adivinhação do que o operador. A decisão de ajuste do processo e ação devem ser de responsabilidade do operador e nunca deve ser por adivinhação. Isto requer mais conhecimento do que o operador possui, logo treinamento deve ser providenciado.”

As palavras de Shainin deixam claros dois aspectos. Um primeiro refere-se a necessidade de dar ao operador autoridade para decidir quando é necessário ajustar o processo e promover os ajustes. Segundo, a organização deve providenciar os meios para que os operadores possam ajustar o processo. Esses dois aspectos são essenciais para a prática efetiva do CEP.

No entanto, nem sempre os meios estão disponíveis e a empresa deve providenciá-los. Alguns destes são:

- **Ferramentas da qualidade:** para investigação das causas especiais podem ser disponibilizadas algumas ferramentas da qualidade para os operadores, tais como o “Diagrama causa-efeito” e o “Método dos 5 porquês”. Se conveniente a empresa pode disponibilizar formulários padronizados que facilitem o manuseio destas ferramentas. Estes formulários padronizados, conhecidos como Relatórios de Anomalias, além de favorecer que a investigação siga uma seqüência lógica, permitem que análise das causas especiais sejam registradas. O sucesso deste relatório está extremamente associado ao acompanhamento gerencial da sua implantação. Muitas vezes as ações descritas nestes relatórios não são implantadas por falta de gerenciamento. Exemplos destes relatórios são apresentados por Campos (1994b, p.201-215).
- **Lista de causas especiais:** um outro recurso importante é a inclusão de uma lista de causas especiais no Procedimento Operacional Padrão. Esta lista geralmente facilita a investigação das causas. No entanto, mecanismos devem ser criados para que estes procedimentos sejam freqüentemente atualizados.

- **Lista de ações:** além de causas especiais podem ser incluídas nos Procedimentos Operacionais Padrão uma lista de ações de correção, descrevendo o que deve ser feito para justar o processo. Um aspecto importante é que estas listas adquirem um aspecto dinâmico devendo ser atualizadas constantemente.
- **Apoio Técnico:** Muitas vezes também foge do conhecimento do operador a investigação das causas especiais. Nestes momentos é importante que a equipe de apoio, geralmente composta por supervisores, técnicos e engenheiros auxiliem os operadores na investigação destas causas. A não observância deste item pode levar o recurso estatístico ao descrédito. As atitudes não recomendadas mais comuns relacionadas ao apoio aos operadores são:
 - as pessoas não conseguem detectar as causas especiais ou suspeitas (tendências);
 - as pessoas detectam as causas especiais, mas não têm conhecimento ou experiência suficiente para investigar ou tomar ações
 - as pessoas solicitam auxílio imediato mas não são atendidas.

Além de esclarecer as dúvidas dos operadores na utilização das cartas de controle, esse grupo de apoio tem outras responsabilidades:

- Fornecimento de formulários das cartas de controle;
- Treinamento contínuo dos operadores na utilização do recurso estatístico e tomada de ações no posto de trabalho, até que os mesmos adquiram habilidade de controlar o processo;
- Monitorar a diferença de critérios de tomada de ações entre turnos;
- Verificar a coleta de dados e a prática de subgrupos racionais.

Além das atividades anteriores é recomendável executar uma análise crítica periódica do CEP. Esta atividade, que deve ser executada pela equipe de apoio em conjunto com os operadores, constitui-se basicamente da análise de todo o ciclo de controle. Algumas perguntas podem ser úteis na condução desta análise, tais como:

- Ainda é necessário controlar os característicos de controle?
- Os recursos estatísticos utilizados continuam sendo os adequados?
- Os processos continuam estáveis?
- Os limites de controle das cartas são ainda adequados?
- Os operadores estão utilizando corretamente os recursos estatísticos, isto é, estão efetivamente exercendo o controle SDCA?

Uma método interessante de controle para manter foi desenvolvido por Bassett III e Sandford (1996, p. 95 – 103). O método é denominado *OCAP – Out-of-Control Action Plan*. Esse consiste de uma seqüência de perguntas e respostas que devem ser seguidas pelo operador para verificar o estado de controle estatístico do processos. Se causas especiais forem identificadas ações corretivas são então propostas. O OCAP é constituído de partes:

- **Ativadores:** definem as condições que indicam que o OCAP deve ser seguido, isto é, é o ponto de partida que indica a possível existência de causas especiais atuando sobre o processo.
- **Pontos de verificação:** são as condições que devem ser investigadas para descoberta das causas especiais que estão atuando sobre o processo.
- **Finalizadores:** são as ações que devem ser executadas para eliminação das causas especiais identificadas.

Informações mais detalhadas sobre o método OCAP podem ser obtidas no texto "*The OCAP: predetermined responses to out-of-control conditions*". (BASSETT III e SANDFORD, 1996, p. 95 – 103).

Se existir um sistema de registro das informações relativas a investigação das causas especiais e ações executadas, esse será de extrema valia para execução do controle para melhorar.

5.3.2 - Determinação das etapas do controle para melhorar (PDCA)

Observou-se nas empresas visitadas que freqüentemente o controle se restringia ao SDCA. No entanto, o controle para melhorar é fundamental para a continuidade do CEP. A prática deste controle é a garantia de atingimento do maior objetivo do CEP, isto é, da redução da variabilidade do processo. Enquanto as atividades do SDCA são ditas operacionais, estas são denominadas gerenciais, porque geralmente fogem do conhecimento, da autoridade e da responsabilidade daqueles que utilizam as cartas de controle no dia-a-dia. A redução da variabilidade só é possível com a redução das causas comuns, e para que seja possível a eliminação destas algumas vezes é necessário a aplicação de técnicas estatísticas mais complexas, tais como o Planejamento de Experimentos (DOE – *Design of Experiments*).

O ponto de partida para a investigação das causas comuns que atuam sobre o processo são as informações obtidas durante o gerenciamento para manter. Se algumas causas especiais atuam repetitivamente pode ser que essas sejam comuns ao processo e, obviamente, necessitam de um método mais elaborado para investigação das mesmas.

Paralelamente a isto, a avaliação da capacidade de processos constitui-se uma importante ferramenta para a determinação de prioridades de melhorias. A avaliação fornece informações acerca do nível de variabilidade do processo. A lógica é simples: se a capacidade de um processo está melhorando, então sua variabilidade está sendo reduzida através da eliminação de causas comuns. Esta atividade deve também estar na rotina do CEP, e deve ser executada por pessoal habilitado em técnicas estatísticas de análise. Em outras palavras, a verificação da eficácia da prática do CEP é a "**Avaliação Periódica da Capacidade do Processo**", e esta deve ser realizada de tempos em tempos.

No entanto para a investigação das causas comuns é necessário a adoção de métodos mais elaborados de análise de problemas, pois essas causas, em geral, não são tão fáceis de serem identificadas. Uma opção é o *QC Story* (KUME; 1993,p. 201-217). Este método de 8 etapas constitui-se de uma seqüência lógica para solução de problemas crônicos, isto é, problemas em que atuam causas comuns. A utilização deste método em uma das empresas visitadas tem proporcionado a solução de muitos problemas considerados crônicos.

Neste método uma etapa muito importante é a análise, que se constitui na descoberta das causas comuns. Nesta etapa várias técnicas estatísticas de análise podem ser utilizadas, tais como:

- Planejamento de experimentos;
- Análise de correlação;
- Análise de regressão;
- Testes de hipóteses.

Esse capítulo 5 apresentou as diretrizes gerais para implantação e gerenciamento do CEP. Conforme proposto, a metodologia constitui-se de um conjunto de diretrizes gerais, que devem ser analisadas e adaptadas caso-a caso. As fontes utilizadas para composição do capítulo 5 basicamente foram as práticas observadas em algumas empresas visitadas e alguns textos encontrados na literatura especializada. Dessa forma, o texto estruturado ao longo do presente capítulo encerra o tema proposto dessa dissertação.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

6.1 – Contribuição do trabalho desenvolvido

A maior contribuição desta dissertação é seu aspecto referencial. Muitas empresas de manufatura, por acreditarem nas vantagens que podem ser obtidas com a prática do CEP, investem muitos recursos na implantação, principalmente, das cartas de controle convencionais, ditas cartas de Shewhart. As cartas de controle convencionais podem ser implementadas nas indústrias sem que seja necessário um conhecimento estatístico profundo. Esse argumento possivelmente é o mais favorável à implantação desses modelos de cartas. No entanto, boa parte dessas empresas encontram dificuldades para obtenção dos resultados desejados. A solução destas dificuldades pode (ou deve) invariavelmente passar pela pesquisa e estudo dos diversos fatores relacionados a implantação. Contudo, a maior parte da literatura específica trata apenas das questões estatísticas relativas às cartas de controle, sem levar em consideração as relativas a implantação dessas ferramentas. Mesmo as que abordam apenas os aspectos estatísticos, não consideram a questão da correlação estatística que pode estar presente em processos de fabricação e que é fundamental para a correta aplicação dos modelos de Shewhart. Neste contexto, o texto apresentado ao longo desta dissertação pode servir como referência às empresas que encontram dificuldade em implantar e praticar o Controle Estatístico de Processos. Entretanto, o fato de haver diversas variáveis envolvidas permite concluir que essa proposta de implantação não pretende ser completa e extensiva a cobrir todas as possíveis dificuldades encontradas.

E qual seria o melhor roteiro para amenizar, ou até mesmo eliminar, estas dificuldades? A resposta a esta pergunta foi justamente o foco central do trabalho. Acima de tudo, o sucesso ou insucesso da prática do CEP, além dos fatores estatísticos envolvidos, está intrinsecamente ligado aos aspectos culturais de cada organização. Neste sentido, não existe uma fórmula mágica que possa garantir a toda e qualquer organização uma implantação adequada. Não existem atalhos ou soluções pré-formuladas. Logo, o simples desejo de implantar o CEP não garantirá a obtenção dos resultados desejados. É necessário acima de tudo considerar as múltiplas variáveis relativas à implantação e à prática do Controle Estatístico de Processos. Portanto, pode-se afirmar que o principal motivo que leva muitas empresas a encontrarem dificuldades seja o fato de não ser levada em consideração esta diversidade de aspectos, tanto estatísticos quanto organizacionais, que podem estar envolvidos tanto com a implantação quanto com a prática desta ferramenta.

Essas particularidades da cultura de cada organização, aliadas a velocidade com que as mudanças ocorrem nos dias atuais, conduziram a elaboração de uma proposta em formas de diretrizes que, a princípio, podem direcionar a implantação do CEP em qualquer organização de manufatura. A proposta possui, sob o ponto de vista didático, uma seqüência metodológica. Na prática algumas etapas podem ser suprimidas ou novas etapas podem ser criadas em acordo com as particularidades de cada organização. A adaptação é essencial. Sob este enfoque dois 2 pressupostos básicos devem ser considerados:

Qualidade é um modo de pensar na organização: o ambiente para implantação do CEP deve ser um ambiente em que a qualidade seja parte integrante dos valores e da

rotina da organização, isto é, um ambiente em que comportamento organizacional seja realmente condicionado pelo pensamento em qualidade. Em uma empresa em que a qualidade é dita apenas cosmética, isto é, onde o comportamento organizacional é representado por atitudes não focadas em qualidade o CEP não deve ser implantado. Um diagnóstico preliminar realizado para verificar o comportamento organizacional frente ao aspecto qualidade pode evitar desperdícios futuros.

A implantação deve ser considerada um processo de mudança organizacional: a implantação do CEP é muito mais do que a introdução de novas ferramentas de melhoria de processos. A rotina de atividades das funções, as atitudes e crenças da organizações são objetos de mudança. Desta forma, a implantação deve ser planejada como um processo de mudança organizacional e cultural.

6.2 – Comentários finais sobre o Controle Estatístico de Processos

Inicialmente um comentário é tecido acerca do título da dissertação. O tema refere-se à implantação de cartas de controle em processos cujos dados sejam independentes e normalmente distribuídos. Esse é o pressuposto básico para aplicação das cartas convencionais, sendo ignorado ou não percebido por muitas empresas. Se os dados que representam um processo forem auto-correlacionados estatisticamente, um tratamento especial deve ser dispensado para que cartas de controle possam ser utilizadas. Se as cartas convencionais forem utilizadas sem o devido tratamento estatístico, muitos falsos alarmes poderão aparecer e as cartas de controle tornam-se inoperantes.

Apesar de ser o aumento do lucro da organização que se dispõe a praticar o CEP uma das conseqüências decorrentes da redução da variabilidade, não foi encontrado nenhum estudo, dentro das referências bibliográficas consultadas para realização desta dissertação, que demonstre a relação direta entre o aumento da competitividade e a prática do CEP³⁸. No entanto, a questão fundamental, que motiva a implantação do CEP, é a tese de que é necessário que as estratégias empresariais sejam orientadas ao cliente para que uma organização sobreviva em um mercado competitivo. Em outras palavras, todas as ações devem ser direcionadas para a melhoria da qualidade do produto e dos serviços oferecidos pela organização. Se uma das formas de se medir a qualidade for a variabilidade, produtos que apresentem faixas de desempenho com menor variabilidade serão de melhor qualidade. Neste contexto, a prática do CEP se justifica, pois a variabilidade é nata aos processos e somente pode ser reduzida e mantida em valores adequados se, dentre outras medidas³⁹, forem adequadamente implantadas metodologias de controle.

Ainda tratando-se dos objetivos e resultados, é importante considerar o CEP como uma estratégia, isto é, como uma atividade meio que conduz ao alcance de alguns resultados significativos para uma organização. O objetivo maior deve ser a redução da variabilidade e não a implantação de cartas de controle. E esta é a abordagem real e concreta que deve direcionar a implantação do CEP. Pressões de clientes e exigências normativas são exemplos de abordagens que podem conduzir a objetivos inadequados.

É importante ressaltar também que o CEP não se reduz às cartas de controle. Neste contexto duas observações são importantes para um melhor esclarecimento conceitual dessa

³⁸ Não existem informações que demonstrem se o CEP foi um dos agentes causadores das empresas consideradas competitivas.

³⁹ O projeto robusto é outra abordagem que também pode ser aplicada para que sejam produzidos produtos que ocasionem menores perdas para a sociedade.

estratégia da qualidade. Primeiramente, o CEP deve ser entendido e praticado como um sistema de controle preventivo, em que sejam definidas responsabilidades e autoridades para, principalmente, executar as ações corretivas tanto para a manutenção da estabilidade quanto para a redução da variabilidade. Em se tratando especificamente do sistema de ações corretivas vale ressaltar que enquanto a manutenção da variabilidade do processo em um determinado patamar depende basicamente de ações operacionais, isto é, das ações executadas por aqueles que utilizam diretamente as cartas de controle, a redução da variabilidade depende do esforço conjunto daqueles que têm autoridade técnica sobre o processo. Nesse sentido, a redução da variabilidade exige estudo, inovação e desenvolvimento que, geralmente, acarretam mudanças no produto e no processo. O sistema de controle a ser desenvolvido para garantir que essas ações sejam implementadas e efetivadas a contento, geralmente, acarretam mudanças na postura e atribuições dos que terão a responsabilidade pela melhoria dos processos. Essas mudanças são tratadas como organizacionais, e como tais devem ter um plano de implementação que minimize eventuais resistências particulares de toda mudança organizacional. Uma segunda observação refere-se à função das cartas de controle. Essas são ferramentas que apenas indicam que é necessário intervir no processo para mantê-lo no estado desejado. É necessário acima de tudo conhecimento, tanto para se interpretar a carta de controle e perceber o aviso, quanto para identificar o que deve ser ajustado no processo. Em outras palavras, para que o sistema de controle seja efetivo é fundamental conhecimento. Como disse o Sr. Deming, “...**não existe substituto para o conhecimento..**” (CAMPOS, 1994a, p. 5).

Adicionalmente, o sistema de controle CEP deve ser entendido como integrante de um sistema maior, isto é, controle estatístico de processos não tem sentido isoladamente. Entender o CEP como subsistema permite concluir que:

- a manutenção da estabilidade do processo depende da padronização das tarefas operacionais. A repetibilidade das atividades operacionais no processo é fundamental para manter dentro de valores adequados a parcela da variação devido a mão-de-obra;
- a redução da variabilidade não é obtida apenas com o CEP. Neste contexto, para que a variabilidade seja reduzida é importante que tanto o produto quanto o processo sejam desenvolvidos para este propósito, isto é, os produtos e processos devem ser projetados para atender a um determinado nível de variação desejado.
- outras ferramentas podem ser agregadas para que a variabilidade seja reduzida. Entre essas destaca-se o Design of Experiments, metodologia que permite a identificação e quantificação da variáveis influentes no processo.
- a prática do CEP conduz a um maior conhecimento do processo. Esses novos conhecimentos podem ser utilizados para o desenvolvimento de novos produtos e processos.

Aspectos econômicos principalmente devem ser considerados na implantação do CEP. Neste contexto, o sistema de controle através de ferramentas estatísticas somente deve ser implantado se for economicamente viável. Custos de ajuste, custos de mão-de-obra envolvida e custos de eventual uso de tecnologias de informação são alguns exemplos de fatores a serem considerados. Muitas vezes é melhor investir diretamente em outros sistemas de controle ou sobre o produto e/ou processo ainda na fase de desenvolvimento.

Finalmente uma última observação é decorrente do elevado número de variáveis que circundam a implantação do Controle Estatístico de Processos: o custo de aprendizagem.

Como toda e qualquer estratégia que envolve diversas variáveis, o CEP também exige um tempo para que seja dominado e aplicado adequadamente. Logo, as dificuldades iniciais encontradas não devem ser traduzidas como fracasso ou serem atribuídas à uma suposta ineficiência da ferramenta. Das quatro empresas visitadas nenhuma conseguiu implantar a ferramenta na primeira tentativa. Apesar da baixa representatividade estatística é possível afirmar que esta talvez seja (ou tenha sido) a condição enfrentada pela maior parte das organizações que se submeteram ao desafio de implantar o CEP. A abordagem mais correta seria prever “o que” pode ou não funcionar conforme o planejado. Nesse caso, não existe substituto para análise crítica e melhoria contínua do sistema de controle. Não se pode acreditar no fato de que o sistema de controle vai se ajustar por si próprio. É necessário insistir e melhorar o sistema de controle permanentemente.

6.3 – Limitações do trabalho e dificuldades encontradas

Se de um lado a carência de literatura específica, que trata dos aspectos de implantação do CEP, é o fator positivo à contribuição desta dissertação, por outro foi um dos maiores obstáculos para realização deste trabalho. A maior parte da literatura é direcionada às questões estatísticas acerca do CEP.

Uma limitação do trabalho é o fato da metodologia proposta não ter sido integralmente aplicada em uma organização. Muitas outras variáveis que afetam a implantação do CEP poderiam ser observadas, razão esta que possivelmente enriqueceria o trabalho em termos de conteúdo. Logo, a metodologia apresentada não passa de uma proposta.

O número de empresas consultadas para obtenção das observações práticas não tem representatividade estatística. No entanto, sob o ponto de vista da validade da pesquisa, a avaliação qualitativa realizada permitiu concluir acerca de diversos aspectos que não são frequentemente encontrados na literatura, mas que somente podem ser observados através da prática do CEP.

6.4 - Sugestões para trabalhos futuros

Implantar e verificar a validade prática da metodologia proposta

Muito possivelmente esse seja, para o autor dessa dissertação, o desafio mais tentador sob o ponto de vista da validade da pesquisa. Apesar da metodologia ser baseada, na sua essência, em aspectos práticos, além do que muitos dos passos são conhecidos e testados, é de se esperar que após uma implantação completa de toda a metodologia que novas abordagens sejam observadas. Esta possível hipótese baseia-se na tese de que toda metodologia possui suas imperfeições e necessita ser constantemente melhorada, apesar do esforço despendido durante a formulação da mesma.

Metodologia para implantação de cartas de controle não convencionais

Apesar de muitos aspectos da metodologia apresentada não depender da questão da correlação estatística, um outro estudo que poderia ser desenvolvido é a elaboração de uma

proposta de metodologia para aplicação de cartas de controle para processos que apresentem correlação estatística.

Estudo de avaliação de capacidade de processos

Enquanto alguns autores vêm com bons olhos a utilização de índices para avaliação da capacidade de processos, outros têm questionado a validade desses em função das restrições práticas e de ordem estatística acerca do tema. Neste sentido, poderia ser desenvolvido um trabalho que avaliasse a utilização desses índices sob o ponto de vista prático. Muitos artigos científicos da área têm se preocupado, novamente, apenas com a questão estatística. Logo, uma análise prática sobre os métodos existentes, e até mesmo a criação de um novo método de se medir a variabilidade de processos, seria de extrema importância para aplicações industriais.

CEP em outros tipos de organização que não de manufatura

Recentemente alguns autores têm apresentado o potencial das cartas de controle quando aplicadas em outras áreas. Como as variáveis que circundam estas áreas são relativamente diferentes das de manufatura, o estudo e aplicação de uma metodologia específica para áreas não convencionais poderia constituir um adequado tema para desenvolvimento de uma pesquisa.

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.
- BOX, George E.P.; COLEMAN, David E.; BAXLEY, Robert V. Jr. **A Comparison of Statistical Process Control and Engineering Process Control**. Journal Of Quality Technology. USA: ASQC, V. 29, N.2, 1997.
- BREYFOGLE III, Forrest W. **Statistical Methods for Testing, Development and Manufacturing**. 1ª edição. USA: Editora John Wiley & Sons, Inc, 1992.
- 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. **TQC - Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994a.
- CAMPOS, Vicente Falconi. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do dia-a-dia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bloch Editores S.A., 1994b.
- CHENG, Lin Chih et al. **QFD – Planejamento da Qualidade**. 1. Edição. Contagem – MG: Editora Littera Maciel Ltda. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia, UFMG, 1995.
- COSTA NETO, Pedro L. de O. **Estatística**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1992
- CROWDER, Stephen V; HAWKINS, Douglas M.; REYNOLDS, Marion R. Jr.; YASHCHIN, Emmanuel . **Process Control and Statistical Inference**. Journal Of Quality Technology. USA: ASQC, V. 29, N.2, 1997.
- CSILLAG, João Mário. **Análise do Valor**. 4 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1995.
- 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.

- FAIR, Douglas e WISE, Stephen. **The control chart dilemma**. Quality Progress. Vol. 3, N. 02. USA: American Society for Quality, 1998.
- GRAÇA Jr, João Câncio da . **O CEP acaba com as variações?** Revista Controle da Qualidade. São Paulo, Editora Bannas, 1996.
- 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. GRZYNA, 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 os 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.
- LABMETRO. **Apostila: Instrumentação para controle dimensional (CL-10)**. Florianópolis, SC, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Metrologia e Automatização UFSC, 1988.
- MAITAL, Shlomo. **Economia para Executivos**. 1. edição. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1996.
- 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 tools**. USA: Minitab Inc., 1998.
- MONTGOMERY, Douglas C. **Introduction to Statistical Quality Control**. 2 ed. Canadá: John Wiley & Sons, 1991.
- MYERS, Raymond H. e WALPOLE, Ronald E. **Probability and Statistics for Engineers and Scientists**. 4. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1989.

- 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.
- 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.
- SANIGA, Erwin M. **Individual Contributions**. Journal Of Quality Technology. USA: ASQC, V. 29, N.2, 1997.
- 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.
- WALL STREEET JOURNAL, 23 DE ABRIL DE 1998.
- 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. **Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos**. 1 ed. Belo Horizonte: FCO, 1995b.
- WERKEMA, Maria Cristina. **Avaliação da Qualidade de Medidas**. 1 ed. Belo Horizonte: FCO, 1996.
- WERKEMA, Maria Cristina. **Curso 6 Sigmas (apostila)**. Belo Horizonte: Fundação de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

WESTERN ELECTRIC COMPANY. **Statistical Quality Control Handbook**.
3ª edição, Pennsylvania, USA, 1967.

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.

WICK, Charles; VEILLUX, Raymond F. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook**. Vol. 4: Quality Control and Assembly. 4ª ed. USA: Society of Manufacturing Engineers, 1987.