

WALTER NIKKEL

***“INCREMENTO DA LUCRATIVIDADE INDUSTRIAL
ATRAVÉS DE SISTEMAS COMPUTADORIZADOS DE
COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA
CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS”***

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SANTA CATARINA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

ORIENTADOR: Prof. Robert Wayne Samohyl, PhD

**FLORIANÓPOLIS
2001**

*À minha esposa Gertrudes
e aos meus filhos Marcelo e Marcia*

AGRADECIMENTOS

Quero registrar o meu agradecimento especial a Deus que me proporcionou as condições para que eu conquistasse este marco importante da minha vida.

Também quero agradecer às seguintes pessoas:

à minha família, que me incentivou muito nesta jornada, sacrificando tempo precioso de convívio para o alcance do objetivo;

ao Prof. Robert W. Samohyl, meu orientador, que dedicou bastante tempo na orientação deste trabalho e ofereceu muitas contribuições;

ao Prof. Wiliam Alves Barbosa, como meu chefe no Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR, que me incentivou para a realização deste trabalho e deu todo o apoio necessário;

ao Prof. Gregório Busseguin, meu professor do curso de graduação, pelo incentivo para a conquista deste alvo;

ao Prof. Marcelo G. Cleto, meu colega de trabalho, pelo incentivo e contribuições valiosas para este trabalho.

RESUMO

Devido à competição acirrada entre as empresas, provocada pela globalização, as empresas estão buscando inovações tecnológicas para a melhoria da qualidade e da produtividade. Os sistemas de coleta e processamento de dados para Controle Estatístico de processos (CEP) foram desenvolvidos basicamente para a melhoria da qualidade dos processos, mas este trabalho mostra que estes sistemas também podem contribuir significativamente para o incremento da produtividade industrial e, conseqüentemente, para o aumento do resultado financeiro.

ABSTRACT

Due to the tough competition between companies, caused by globalization, companies are seeking for technological innovations in order to improve quality and productivity.

The systems for data collection and processing for Statistical Process Control (SPC) were designed basically for quality improvement but this work shows that these systems may also contribute significantly for improvement of industrial productivity resulting in higher profits.

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Uma visão geral.....	01
1.2 Tema da pesquisa.....	03
1.3 Justificativa e relevância do tema.....	03
1.4 Objetivo.....	04
1.5 Resultados esperados	05
1.6 Metodologia da pesquisa	05
1.7 Estruturação da dissertação	06
1.8 Limites do trabalho de pesquisa.....	08

CAPÍTULO 2 – QUALIDADE ATRAVÉS DE CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

2.1 Introdução – Conceito de Qualidade.....	09
2.2 Controle do Processo.....	11
2.3 Prevenção versus Detecção.....	13
2.4 Causas de Variação.....	15
2.4.1 Causas Comuns de Variação.....	15
2.4.2 Causas Especiais de Variação.....	16
2.5 Teoria do CEP.....	19
2.6 Utilização de Subgrupos Racionais para Gráficos de Controle.....	20
2.7 Justificativa para o Uso de Médias de Amostras.....	22
2.8 Não Normalidade em CEP.....	31

CAPÍTULO 3 – SISTEMAS COMPUTADORIZADOS PARA COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA CEP

3.1 Introdução.....	48
3.2 Elementos dos sistemas computadorizados.....	48
3.2.1 Sistemas de medição eletrônicos.....	48
3.2.2 Sistemas de processamento e coleta de dados.....	52
3.2.3 Software para CEP.....	53
3.3 Vantagens do sistema computadorizado sobre o sistema manual.....	59
3.4 Desvantagens do sistema computadorizado sobre o sistema manual.....	65
3.5 Avaliação econômica dos sistemas computadorizados para CEP.....	65

CAPÍTULO 4 – AUMENTO DA PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DE SISTEMAS COMPUTADORIZADOS PARA COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA CEP

4.1 Introdução.....	67
4.2 Fabricação Just in Time (JIT)	75
4.3 Automação (Automação Parcial)	79
4.4 Exemplos de Automação	82
4.4.1 Exemplo de operação com guilhotina.....	82
4.4.2 Exemplos diversos.....	83
4.5 Exemplos de Automação com Sistemas Computadorizados para CEP	84
4.5.1 Exemplo de máquina de montagem de correntes de moto-serra.....	84
4.5.2 Exemplo de avaliação econômica da viabilidade do investimento em automação com sistemas computadorizados para CEP em um sistema de produção (operação com tornos)	86
4.5.3 Resumo dos passos para avaliação econômica da viabilidade do investimento em automação com sistemas computadorizado para CEP em um sistema de produção	97

CAPÍTULO 5 – ESTUDOS DE CASO

5.1 Estudo de caso da fábrica de correntes.....	98
5.2 Estudo de caso da Harley & Davidson.....	106
5.3 Caso de fabricante de parafusos e rebites.....	112
5.4 Caso de fabricante de fixadores especiais para automóveis.....	113
5.5 Resumo das vantagens do Sistema Computadorizado para CEP, citados nos Estudos de Caso	116

CAPÍTULO 6– CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

6.1 Contribuição do trabalho desenvolvido.....	117
6.2 Limitações do trabalho e dificuldades encontradas.....	118
6.3 Sugestões para trabalhos futuros.....	119

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	120
ANEXO 1	122
ANEXO 2	123

Lista de Figuras

Figura 1.....	26
Figura 2.....	26
Figura 3.....	29
Figura 4.....	29
Figura 5.....	30

Lista de Tabelas

Tabela 1.....	41
Tabela 2.....	65
Tabela 3.....	92
Tabela 4.....	95
Tabela 5.....	116

LISTA DE PRINCIPAIS SIGLAS, TERMOS E SÍMBOLOS

ACP – Análise da Capacidade de Processos

Andon – Termo japonês que significa painel de luzes de advertência

CMM – Coordinate Measuring Machine (Máquina de Medição Tridimensional)

Cp – Índice de capacidade potencial do processo

Cpk – Índice de capacidade real do processo

CEP – Controle Estatístico de Processos

CEQ – Controle Estatístico da Qualidade

DDE – Dynamic Data Exchange (Troca Dinâmica de Dados)

DOE – Design of Experiments (Projeto de Experimentos)

EDI – Electronic Data Interchange (Troca Eletrônica de Dados)

GUM – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (Guia para a Expressão da Incerteza da Medição)

Jidoka – Termo japonês que significa automação

JIT – Just in Time (Apenas a Tempo)

LC – Limite de Controle

LIC – Limite Inferior de Controle

LSC – Limite Superior de Controle

MOD – Mão de Obra Direta

ODBC – Open Data Base Connectivity (Conectividade de Base de Dados Aberta)

Setup – palavra inglesa que significa preparação de máquinas

SOC – Statistical Operator Control system (Sistema de Controle Estatístico do Operador da Harley Davidson)

TQC – Total Quality Control (Controle Total da Qualidade)

TQM – Total Quality Management (Administração Total da Qualidade)

WIP – Work in Process (Material em Elaboração)

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. Uma Visão Geral (antecedentes, tendências, etc.)

O momento econômico se caracteriza pelo aumento da competição entre as empresas e, por extensão e conseqüência, pela busca de técnicas de gerenciamento que as tornem mais produtivas, mas com menores custos. A competição mundial é como uma onda que envolveu todos os países, quebrando barreiras culturais, comerciais e políticas. As empresas estão perdendo a proteção dos governos de seus países, que limitavam a entrada do capital estrangeiro dentro de seus limites territoriais.

Pressionadas pelo novo ambiente globalizado, as indústrias estão buscando o aperfeiçoamento e, cada vez mais, se preocupando com a sua própria sobrevivência e com o seu desempenho.

As maiores preocupações dos dirigentes das empresas modernas são a logística, a qualidade e a produtividade. Busca-se a produtividade com o objetivo de reduzir os custos.

Para ofertar qualidade aos olhos da concorrência, é necessário fabricar com boa qualidade e baixo custo, sendo que todo esforço se destina a satisfazer o cliente, portanto, não se deve controlar a qualidade e sim fabricar a qualidade. Conforme Beauregard,1992, o Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma das ferramentas mais importantes para melhoria da qualidade do produto.

No Brasil, ainda há pouco tempo a maioria das empresas não gerenciava os custos de produção. A administração gerenciava pela seguinte fórmula:

$$\text{Preço de venda} = \text{Custo} + \text{Lucro}$$

Sendo que o preço de venda era considerado uma consequência do custo incorrido mais o lucro desejado. Entendiam que o preço de venda era apenas uma função do lucro, sendo o custo praticamente constante. Com a globalização, estas empresas estão descobrindo que o preço de venda não é consequência, e sim, é um dado imposto pelo mercado global. Do ponto de vista filosófico, a equação acima, deve ser vista assim:

$$\text{Lucro} = \text{Preço de venda} - \text{Custo}$$

Sendo o lucro a consequência de um preço de venda imposto pelo mercado menos o custo de produção da empresa em questão. Agora torna-se vital a administração eficaz do custo porque significa a diferença entre o lucro e o prejuízo, principalmente nos segmentos onde as margens de lucro estão cada vez menores.

Portanto, torna-se crítico, a avaliação do custo de cada sistema produtivo, incluindo os sistemas para a qualidade que exigem ainda uma ponderação maior.

1.2 Tema da Pesquisa

Os sistemas automáticos para coleta de dados para CEP são geralmente vistos como recursos para melhorar a qualidade obtida através do CEP. O presente trabalho, no entanto, busca demonstrar que os sistemas automáticos para coleta de dados para CEP podem contribuir significativamente para o incremento da produtividade industrial e, em consequência, para o incremento da lucratividade.

O aumento da produtividade da mão de obra direta (MOD) é possível através deste sistema porque os operadores do processo industrial tem mais tempo para tarefas que agregam valor ao produto. Em alguns casos é possível a operação simultânea de várias máquinas através de um único operador.

O presente trabalho enfatiza o aumento da produtividade industrial com a maximização da utilização da mão de obra com auxílio de sistemas automáticos para coleta e processamento de dados para CEP.

1.3 Justificativa e Relevância do Tema

Qualquer programa de qualidade somente faz sentido se aumentar a lucratividade (Lucro/Faturamento) da empresa. Tradicionalmente, a lucratividade é vista como econômico-financeira, daí o empenho das empresas em planejarem suas atividades de maneira a reduzirem seus custos.

É cada vez mais evidente que a competitividade das organizações já não está assegurada pela qualidade intrínseca do seu produto ou serviço. É crescente a exigência por parte dos acionistas, funcionários, clientes e comunidade que as empresas passem a adotar uma postura ética e socialmente responsável, preocupando-se com diversos aspectos, além da dinâmica do mercado propriamente dito, como meio ambiente, local de trabalho, comunidade e direitos humanos.

Surge, então, a necessidade de se integrar de forma sinérgica os sistemas de gestão em suas várias dimensões de interesse. Tal integração atua no sentido de reduzir custos, simplificar documentação, conseguir o engajamento dos funcionários, possibilitando, desse modo, que os objetivos da empresa sejam atingidos, sem deixar de atender às demandas sociais. Promovendo a integração dos diversos sistemas de gestão, a organização tem maior potencial de sucesso para atender tanto às demandas externas da sociedade, quanto às tradicionais demandas internas – por meio da melhoria da produtividade e redução de perdas – minimizando custos e eliminando esforços repetitivos provenientes da adoção de novas normas.

A gerência, antes de decidir sobre um investimento, sempre pergunta sobre o retorno do investimento. Os projetos com investimento em recursos financeiros, quando não são para aumento da capacidade de produção ou por exigências legais, devem ser tratados como projetos de redução de custos, mesmo os projetos para a melhoria da qualidade.

Os sistemas automáticos de coleta e processamento de dados para CEP, além de melhorarem a qualidade do produto, contribuem

significativamente para o aumento da produtividade. Portanto, o investimento nestes sistemas pode ser justificado como redução de custos.

1.4 Objetivo

Analisar e avaliar os aspectos do aumento da produtividade industrial através de sistemas automáticos para coleta e processamento de dados para CEP e propor uma metodologia para auxiliar as empresas a justificar a implementação destes sistemas.

1.5 Resultados Esperados

O principal resultado esperado é obter-se uma sistemática consistente para avaliar-se a viabilidade de aquisição de sistemas computadorizados de coleta e processamento de dados para CEP, em uma indústria, para aumentar-se a produtividade através da operação de mais de uma máquina por pessoa.

1.6 Metodologia da Pesquisa

A metodologia de pesquisa obedeceu à seguinte seqüência:

- Revisão da literatura sobre CEP manual (com gráficos em papel) e suas limitações.
- Pesquisa bibliográfica sobre as características e benefícios dos sistemas computadorizados para coleta e processamento de dados para CEP.
- Pesquisa bibliográfica sobre os fatores que afetam a produtividade industrial e apresentação de um exemplo didático com instalação de um sistema computadorizado em uma célula de máquinas (tornos), com cálculo do benefício financeiro.
- Comprovação da hipótese de que os sistemas computadorizados para CEP proporcionam benefícios financeiros mensuráveis, através de estudos de casos.
- Apresentação de conclusões.

1.7 Estruturação da Dissertação

- Capítulo 2:

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos de CEP, para a melhoria da qualidade dos produtos, reunidos após uma revisão bibliográfica. Enfatiza-se o ponto de que os gráficos de controle de

médias são muito mais sensíveis à mudanças indesejáveis na produção e, quanto maior o tamanho da amostra, maior esta sensibilidade. Compara-se com um exemplo numérico a sensibilidade de um gráfico de controle de valores individuais com a sensibilidade de um gráfico de médias. O objetivo é mostrar que um sistema computadorizado para o processamento de dados permite a utilização generalizada de gráficos de controle de médias de amostras.

- Capítulo 3:

Neste capítulo apresenta-se os sistemas computadorizados para coleta e processamento de dados para CEP. Mostra-se quais os requisitos que devem ser considerados para aquisição. Também compara-se o sistema computadorizado com o sistema manual com gráficos de controle em papel.

- Capítulo 4:

Neste capítulo é apresentada a importância do CEP no contexto do sistema moderno de produção. É descrito a forma como um sistema automático para coleta e processamento de dados para CEP pode aumentar a produtividade industrial, através da operação simultânea de várias máquinas de produção e é apresentado um exemplo de cálculo econômico.

- Capítulo 5:

Este capítulo tem por objetivo apresentar alguns estudos de caso.

O primeiro estudo de caso descreve o que aconteceu em uma empresa industrial multinacional americana, estabelecida na Cidade Industrial de Curitiba, onde o autor desta dissertação trabalhou durante 17 anos. Neste estudo de caso será analisada uma mudança no sistema de coleta de informações para CEP. A comparação será feita entre um sistema manual e um sistema automático de coleta de dados.

Os outros três estudos de caso foram extraídos de revistas especializadas.

- Capítulo 6:

Este último capítulo apresenta uma síntese das principais conclusões obtidas nos capítulos 4 e 5. Neste capítulo também são traçadas recomendações para trabalhos ou pesquisas futuras.

1.8 Limites do Trabalho de Pesquisa

Este trabalho limita-se a estudar os aspectos econômicos relacionados com os sistemas automáticos para coleta e processamento de dados para CEP, sem entrar no aspecto subjetivo do ganho de competitividade da empresa pela melhoria da qualidade de seus produtos. O estudo abrange a utilização dos recursos da computação no Controle Estatístico de Processos, para colocar os processos sob controle estatístico e para otimizar a localização da média da característica qualitativa considerada, mas não contempla a redução das variâncias através do DOE (Design of Experiment).

CAPÍTULO 2: QUALIDADE ATRAVÉS DO CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSOS

2.1 Introdução – Conceito de Qualidade

O objetivo principal do Controle Estatístico de Processos (CEP) é a melhoria da qualidade dos produtos através da melhoria dos processos de produção. Mas o que é qualidade?

A noção da qualidade depende da percepção de cada um. Um produto que tem qualidade para alguns, pode não ter qualidade para outros. A percepção da qualidade também se altera com o tempo. Por exemplo, o carro “fusca” da Volkswagen era considerado um veículo de alta qualidade pela maioria das pessoas há 30 anos atrás, no Brasil. Hoje isto não é mais a realidade porque os projetos dos carros evoluíram. Da mesma forma, os carros brasileiros atuais são percebidos pela maioria das pessoas com excelente qualidade mas, serão considerados de baixa qualidade, pelas mesmas pessoas, no futuro próximo. Podem ser considerados alguns aspectos que ajudam na percepção da Qualidade como as seguintes abordagens propostas por GARVIN,1988:

- Transcendental: qualidade é excelência em produtos e serviços;
- Baseada no Produto: qualidade tem a ver com características e atributos do produto; é fazer a coisa certa e isenta de defeitos;
- Baseada no Processo: qualidade é fazer a coisa de forma certa, conforme padrões pré-estabelecidos;

- Baseada no valor econômico: a qualidade de um produto ou serviço tem a ver com o seu valor econômico;
- Baseada no Usuário: qualidade é atender à satisfação do usuário.

Outras definições de Qualidade:

- adequação ao uso
- atendimento às necessidades definidas pelo cliente
- estar de acordo com as especificações de engenharia
- a totalidade de aspectos que atendem a uma necessidade específica

Cerqueira, 1994, diz : “Qualidade é a totalidade de atributos que deve ter um produto ou serviço para que atenda às expectativas do usuário final ou supere-as.”

Um produto que está de acordo com as especificações de engenharia, não é, necessariamente, um produto de qualidade para o usuário. Isto porque as especificações de engenharia precisam ser validadas em campo.

Cerqueira, 1994, afirma ainda que a satisfação do cliente é psicológica e envolve vários aspectos. A satisfação do cliente deve atender a cinco requisitos:

Q: QUALIDADE como processo amplo e não apenas restrito à fabricação de um produto ou serviço;

C: a um **CUSTO** acordado e que o cliente possa pagar;

A: com condições de **ATENDIMENTO** perseguidas e cumpridas o tempo todo (prazos e quantidades);

M: num relacionamento que preserve a **MORAL** entre as partes;

S: garantindo **SEGURANÇA** ao cliente.

Campos, 1992, afirma que o verdadeiro critério da boa qualidade é a preferência do consumidor. O que garantirá a sobrevivência da empresa é a preferência do consumidor pelo seu produto em relação ao seu concorrente, hoje e no futuro.

2.2 Controle do Processo (adaptado de Beauregard, 1992)

Deve-se oferecer aos clientes produtos que são percebidos por eles como produtos de qualidade sob todos os aspectos.

Os produtos são resultados dos processos utilizados. Processos bons podem gerar produtos bons, se bem controlados. Portanto:

- produto é o resultado de um processo.
- processo é a combinação total de máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais, pessoas, meio de medição, método e ambiente de trabalho cuja atuação conjunta produz um resultado chamado de produto ou serviço.

O processo transforma uma entrada (insumo) em saída (produto final) através de uma ou mais tarefas.

Numa organização podem ser identificados diversos tipos de processos, tais como: processos de aquisição de material, processos administrativos,

processos de seleção e qualificação de pessoal, processo de produção fabril, processo de vendas, processo de medição e ensaio, entre outros.

O processo será *eficiente* quando for executado em conformidade com padrões e procedimentos previamente estabelecidos, isto é, conforme planejado.

O processo será *eficaz* quando seu produto final for adequado ao uso a que se destina e for isento de defeitos.

Gerenciar um processo consiste em:

- 1) conhecer bem todas as tarefas do processo
- 2) observá-lo constantemente, mantendo-o sob controle
- 3) melhorá-lo continuamente, buscando eliminar possíveis causas de deficiências

O Controle Estatístico do Processo (CEP) é uma ferramenta que tem como objetivo principal a melhoria contínua do processo através da redução das variações. Mas, para o trabalho de melhoria é necessário antes obter o processo sob controle estatístico.

Controle é um processo cíclico de retroalimentação (feedback), através do qual medimos o desempenho real, comparando-o com o padrão, e agimos sobre a diferença. Quanto mais rápida a resposta corretiva ao desvio indesejável, mais uniforme é a qualidade produzida.

Controle Estatístico do Processo (CEP) é um método preventivo, através do qual identificam-se tendências e variações significativas, a partir de dados estatísticos.

Controle Estatístico da Qualidade (CEQ) é aplicação de técnicas estatísticas para medir e aprimorar a qualidade de processos. O CEQ inclui CEP, ferramentas de diagnóstico, planos de amostragem e outras técnicas estatísticas.

2.3 Prevenção versus Detecção

Conforme a Ford Motor Co., 1984, a abordagem tradicional em manufatura tem sido o de detecção de defeitos. O Controle de Qualidade tinha a responsabilidade de rejeitar os itens não conforme com as especificações de engenharia. Era uma estratégia de detecção de problemas após a produção do produto, envolvendo altos custos de inspeção, retrabalhos, perda de material, etc. Esta situação pode ser comparada a uma fábrica escondida que absorve recursos sem agregar valor ao produto. Portanto, aumenta o custo do produto sem aumentar o seu valor. Recursos dispendidos que não agregam valor ao produto são desperdícios ou perdas. No caso de problemas de qualidade é necessária uma ação no resultado do processo (produto).

A estratégia da prevenção de problemas de má qualidade do produto é o meio mais eficaz para evitar a produção de peças não conforme. Esta prevenção é possível através de determinações das alterações indesejáveis no processo, antes da produção de produtos inaceitáveis. São realizadas medições seletivas e periódicas, durante a produção, tanto dos parâmetros do processo como das características do produto.

As técnicas estatísticas nos oferecem um método eficaz para avaliar os dados coletados, através de medições, de forma lógica e sistemática. Obtemos informações confiáveis para o ajuste do processo. Este controle é chamado de “Controle Estatístico do Processo” e é feito pelas pessoas que operam o processo de produção. O lema é: “fazer certo pela primeira vez”.

As informações sobre o desempenho real do processo podem ser obtidas analisando-se o resultado estatístico do mesmo ao longo do tempo de produção. Estas informações podem ser obtidas através de parâmetros do processo tais como temperatura, pressão, concentração, ou através de medições de características do produto que está sendo produzido, como por exemplo dimensões, dureza, cor. Quando estas informações são obtidas e interpretadas corretamente, indicam se há ou não necessidade de uma ação para se corrigir o processo. Esta ação no processo é uma ação de prevenção porque a eventual correção do processo é realizada antes da produção de produto não conforme (fora das especificações). A ação no resultado se torna desnecessária com o controle estatístico do processo bem realizado.

2.4 Causas de Variação (adaptado da Ford Motor Co., 1984)

É uma lei da natureza que dois elementos nunca são iguais. Isto porque os processos são influenciados por variações que afetam o resultado do produto.

Nunca duas peças ou dois produtos são exatamente iguais. Dimensões de peças apresentam variações dentro de certos intervalos. Conjuntos como

motores e automóveis apresentam pequenas variações de performance. As diferenças entre os produtos podem ser enormes ou quase imperceptíveis, mas sempre presentes. As causas de variação são de dois tipos:

- causas comuns ou aleatórias
- causas especiais ou atribuíveis

2.4.1 Causas Comuns de Variação

As causas comuns fazem parte da natureza do processo e seguem padrões normais de comportamento. São inerentes ao processo considerado. As causas comuns referem-se a muitas fontes pequenas de variação dentro de um processo que se encontra sob controle estatístico (processo estável). São causas aleatórias que agem de forma constante.

A eliminação das causas comuns é impossível para um determinado processo, sendo por isso consideradas como parte natural do processo de fabricação. Entretanto, é possível, mas onerosa, a redução do efeito das causas comuns sobre o produto. A redução das causas de variação exige mudanças no processo ou a substituição do processo existente por um processo de tecnologia mais moderna, sendo necessário investimento de capital. Por isto, a responsabilidade pelas causas comuns de variação está com a alta administração.

Exemplos de causas comuns:

- vibração normal de uma máquina em boas condições
- variação normal das características da matéria prima

- folgas normais entre os componentes da máquina
- pequenas variações de temperatura e umidade
- pequenas flutuações da energia elétrica
- desgaste normal da ferramenta de corte
- variações normais na operação pelas pessoas

2.4.2 Causas Especiais de Variação

As causas especiais referem-se a quaisquer fatores e variação que não podem ser explicados adequadamente através de uma distribuição simples de resultados, como seria o caso se o processo estivesse sob controle estatístico. São de certa forma imprevisíveis. Quando detectadas, devem ser eliminadas rapidamente, para que não prejudiquem o desempenho do processo.

Exemplos de causas especiais:

- quebra da ferramenta de corte
- falha do rolamento da máquina
- material fora de especificação
- operador inexperiente
- queda de energia elétrica

As causas especiais (causas não aleatórias) referem-se a fatores que causam, normalmente, grandes variações. Geralmente são fatores acidentais. Quando há causas especiais de variação o comportamento do processo ao longo do tempo é imprevisível.

A primeira etapa do CEP é colocar o processo sob controle estatístico. Isto significa tornar o processo estável através da eliminação das causas especiais de variação. Portanto, em um processo sob controle estatístico, a variação é causada apenas pelas causas comuns. Neste caso, o comportamento do processo ao longo do tempo é previsível.

Como os fatores que causam variações especiais estão sob o domínio dos operadores, a responsabilidade pela eliminação está com os mesmos.

As causas especiais de variação podem ser detectadas por técnicas estatísticas elementares. A descoberta de uma causa especial e sua eliminação, é geralmente responsabilidade do pessoal diretamente envolvido com a operação, embora muitas vezes a administração deva planejar a execução de um conjunto de atividades para eliminar estas causas especiais. Portanto:

A eliminação de uma causa especial requer uma ação no local.

Um processo, onde foram eliminadas as causas especiais, é chamado de um processo “sob controle estatístico”. Diz-se que um processo está operando sob controle estatístico quando a única fonte de variação é de causas comuns. Mas, um estado de controle estatístico, não é condição natural de um processo de fabricação. Por isso é necessário um esforço determinado de eliminação das causas especiais. A função fundamental do controle do processo é, por conseguinte, fornecer um sinal estatístico quando há ocorrência de causas especiais de variação e, evitar falsos sinais estatísticos,

quando estas causas não estão presentes. Isto permitirá ações adequadas que eliminarão aquelas causas especiais e evitarão o seu reaparecimento.

A condição de “controle estatístico” nada tem a ver com a capacidade do processo de produzir o produto dentro das especificações. Para um processo ser “capaz” de produzir uma determinada característica dentro das especificações o processo precisa estar centrado no alvo ou objetivo e a dispersão devido às causas comuns deve ser menor que a faixa de tolerância da especificação.

A grandeza da variação devida às causas comuns de variação também pode ser indicada com técnicas estatísticas elementares mas, geralmente, a sua eliminação requer análise mais detalhada. A redução das causas comuns de variação é responsabilidade da administração, embora pessoas diretamente envolvidas com a operação possam estar em melhor posição para identificá-las e passá-las à chefia para a devida correção. Portanto:

Em geral, a redução de uma causa comum de variação requer uma ação no sistema.

2.5 Teoria do CEP (adaptado de Beauregard, 1992)

Na segunda metade do século 20 foi desenvolvido a primeira teoria do Controle Estatístico da Qualidade. Esta teoria foi desenvolvida pelo Dr. Walter Shewart, dos laboratórios Bell, que estabeleceu a distinção entre variação

controlada e não controlada, devidas respectivamente às causas comuns e especiais. Ele desenvolveu um instrumento simples, porém eficaz, para separar causas especiais de causas comuns – a Carta ou Gráfico de Controle. As Cartas de Controle têm sido utilizadas com sucesso em várias situações que envolvem Controle do Processo. As Cartas de Controle chamam a atenção para causas especiais de variação quando estas aparecem, e, refletem a magnitude das causas comuns de variação que devem ser reduzidas pela ação gerencial.

O primeiro passo, quando uma carta de controle é introduzida para uma determinada característica do processo, é colocar o processo “sob controle estatístico”. Colocar um processo sob controle estatístico significa eliminar as causas especiais de variação, deixando apenas as causas comuns de variação que são inerentes ao processo. Um processo “sob controle estatístico” é um processo estável ou previsível.

Diversos tipos de Gráficos de Controle foram desenvolvidos tanto para analisar Atributos (valores discretos) quanto Variáveis (valores contínuos). Os Gráficos de Controle apresentam duas funções básicas:

- 1) Mostrar se um processo está sendo operado sob Controle Estatístico (sem causas especiais de variação) ou assinalar a presença de causas especiais de variação para as devidas ações corretivas/ preventivas.
- 2) Manter o estado de Controle Estatístico usando-se os limites de controle do processo como base para ações imediatas (eliminação das causas especiais).

- 3) Melhorar o desempenho do processo através da redução da variação devido às causas comuns. Isto se chama de melhoria da Capacidade do Processo que é a melhoria da capacidade de produzir dentro dos limites de especificação.

O objetivo final do Controle Estatístico de Processos é o aperfeiçoamento da processo através da redução da influencia das causas comuns.

2.6 Utilização de subgrupos racionais para gráficos de controle

Grant (1988, p.153) diz que a informação obtida do gráfico de controle depende da base utilizada na seleção das amostras. Como as amostras geralmente consistem em mais de uma medição individual são chamadas de subgrupos.

O maior objetivo da seleção de amostras de um processo é a seleção da amostra (subgrupo) de tal forma que a variação dentro do subgrupo é devido apenas às variações aleatórias inerentes ao processo, chamadas de causas comuns de variação.

A idéia é a escolha da amostra com o objetivo de maximizar as chances de ter cada elemento dentro da amostra similar, sujeita apenas a causas comuns de variação. O espaçamento temporal entre os subgrupos deve ser tal que detecte a presença de causas especiais de variação.

Considerações sobre o tamanho do subgrupo:

- Os subgrupos devem ser pequenos para serem viáveis do ponto de vista econômico e prático. O tempo e esforço necessário para coletar e medir as amostras é o que pesa nesta consideração.
- Os subgrupos devem ter o tamanho suficiente para permitir, através do teorema central do limite, a distribuição normal das médias das amostras. Isto porque algumas distribuições dos dados do processo não são normais. Quanto maior o tamanho das amostras, maior a possibilidade de a distribuição das médias se aproximar da curva normal. Do ponto de vista prático isto é verdade para tamanhos de amostra com $n = 4$ ou mais.
- Subgrupos grandes também são necessários para proporcionar uma boa sensibilidade na detecção de condições fora de controle. Quanto maior o tamanho do subgrupo, maior a probabilidade de se detectar uma alteração indesejável da média do processo. (Ver o item 2.7 – Justificativa para o uso de médias de amostras).
- Os subgrupos devem ser selecionados de tal forma que apenas causas comuns de variação estejam presentes. Se os subgrupos se tornarem muito grandes, é possível que causas especiais de variação se misturem com as causas comuns de variação. Este efeito reduz a sensibilidade do gráfico de controle em detectar mudanças indesejáveis no processo porque os limites de controle se tornam mais abertos.

Levando em conta todas as considerações acima, seleciona-se tipicamente tamanhos de subgrupos entre 4 e 6. Cinco é o tamanho mais comum por favorecer o cálculo da média (basta somar os valores, dobrar a soma e eliminar a última casa decimal). Com a utilização de sistemas computadorizados, que calculam tudo automaticamente, esta questão não precisa ser considerada.

2.7 Justificativa para o uso de médias de amostras

2.7.1 Teorema central do limite (adaptado de Oakland, 1990)

O teorema central do limite diz que se coletarmos amostras de tamanho n de uma população com média μ , então à medida que o valor de n vai aumentando, a distribuição das médias das amostras \bar{X} se aproxima de uma distribuição normal, sendo $\bar{X} = \mu$, independentemente da forma da distribuição dos valores individuais.

Pode-se mostrar que:

- A média ($\bar{\bar{X}}$) das médias (\bar{X}) é um excelente estimador para a média da população (μ)

- O desvio padrão da distribuição das médias das amostra (\bar{X}) é $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ menor que o desvio padrão da população σ :

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$$

Há duas razões principais para a preferência da utilização de cartas de controle de médias de amostras (\bar{X} / R e \bar{X} / s) sobre cartas de valores individuais (X / Rm):

a) A distribuição das médias de amostras tende a uma distribuição normal qualquer que seja a distribuição da população representada pelos valores individuais. Oakland, (1990, p.103), mostra que, mesmo para distribuições absurdas de populações (valores individuais), como as distribuições quadrada e triangular, as médias tendem a uma distribuição tipo curva normal. A grande vantagem disto é se poder utilizar a tabela da curva normal para os cálculos estatísticos.

b) As médias são mais sensíveis à mudanças que medidas individuais.

2.7.2 Exemplo de cálculo da sensibilidade de gráficos de controle de médias

Um processo, sob controle estatístico, produz eixos cuja característica diâmetro tem distribuição normal e está sendo controlado através de um gráfico de controle e apresenta média de 100,5 mm e desvio padrão $\sigma = 0,2$ mm.

Usando-se um gráfico de controle com médias de amostras de $n=5$ elementos (\bar{X} / R ou \bar{X} / s) e, havendo uma **mudança indesejável** da média para 100,7 mm, sem alteração da dispersão, determinar:

a) Qual é a probabilidade de evidência da mudança, indicando a necessidade de uma “ação”, através de ponto fora do LSC, com gráficos de controle X / R_m (valores individuais) ?

Quantas amostras de 1 elemento são necessárias para se detectar esta mudança com 95% de probabilidade, através de um ponto fora do LSC ?

b) Qual é a probabilidade de evidência da mudança, indicando a necessidade de uma “ação”, através de ponto fora do LSC, com gráfico de controle \bar{X} / R de $n = 5$ elementos?

Quantas amostras de 5 elementos são necessárias para se detectar esta mudança com 95% de probabilidade, através de um ponto fora do LSC ?

c) Qual é a probabilidade de evidência da mudança, indicando a necessidade de uma “ação”, através de ponto fora do LSC, com gráfico de controle \bar{X} / R de $n = 25$ elementos?

Quantas amostras de 25 elementos são necessárias para se detectar esta mudança com 95% de probabilidade, através de um ponto fora do LSC ?

Resolução:

O processo está qualificado (está sob controle estatístico).

Portanto o processo tem seus limites de controle estabelecidos em:

$$LSC = \bar{\bar{X}} + 3 \sigma$$

$$LIC = \bar{X} - 3 \sigma$$

Pelo Teorema Central do Limite tem-se que, ao coletar amostras de tamanho n de uma população com média μ e um desvio padrão σ , à medida que o valor de n vai aumentando, a distribuição das médias das amostras \bar{X} se aproxima de uma distribuição normal, sendo \bar{X} igual a μ .

Ainda, quando a distribuição dos indivíduos é normal, com desvio padrão σ , a distribuição das médias das amostras \bar{X} tem desvio padrão $\sigma_{\bar{X}}$ dado pela seguinte relação (conceitual):

$$\sigma_{\bar{X}} = \sigma / \sqrt{n}$$

Começando a análise pela carta de amostras individuais (letra a)

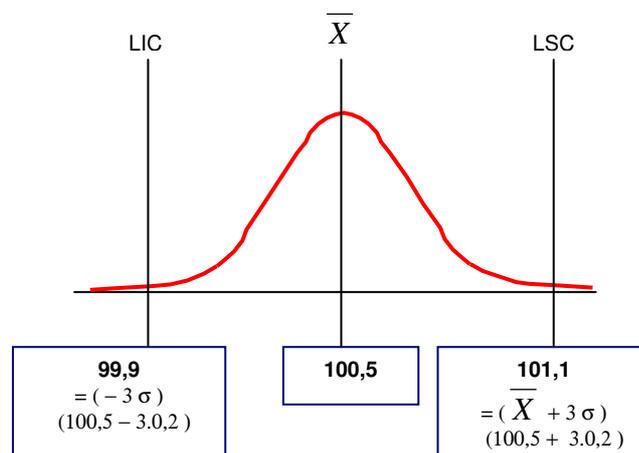
Como $n=1$ (indivíduo)

$$\sigma_{\bar{X}} = \sigma$$

A média da população μ é estimada através da média de um grupo de valores individuais \bar{X} .

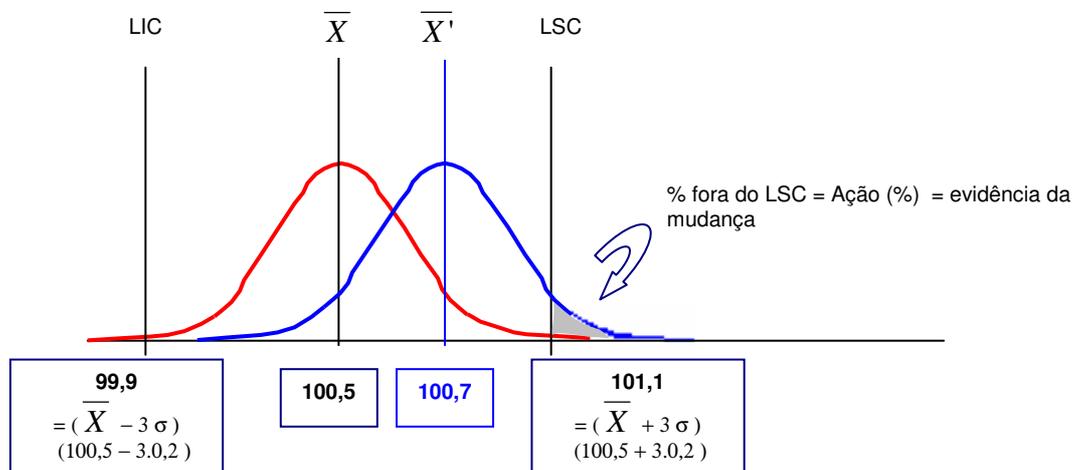
Então a distribuição (antes da mudança indesejável da média) da população (que é igual a da carta \bar{X} , R_m) ficará da seguinte maneira:

Figura 1: Distribuição da população.



Quando ocorre a mudança indesejada da média, a distribuição passa a ser da seguinte forma em relação à original:

Figura2: Distribuição da população antes e depois da mudança indesejável.



A média deslocou-se um desvio padrão para cima o que resultará em um percentual de peças sendo produzidas acima do LSC.

O próximo passo é calcular a “ação” (ação = $1-\beta$) ; sendo β o risco ou erro de não haver evidência da mudança. Ou seja, a “ação” (probabilidade de se detectar a mudança indesejável) é contrária a probabilidade de não se perceber (risco β) esta mudança.

Então deve-se calcular a probabilidade P_z (ação) para um ponto cair fora do LSC. Para calcular o P_z necessita-se conhecer o $Z = (LSC - \bar{X}) / \sigma$.

$Z = (101,1 - 100,7) / 0,2 \rightarrow Z = 2 \rightarrow$ da tabela distr. Normal $\rightarrow P_z =$ “Ação” = 2,28% , portanto uma probabilidade muito pequena de se detectar tal mudança com apenas uma amostra, ou seja, o risco β associado (risco de não se perceber a mudança) é muito alto ($100 - 2,28 = 97,72\%$)

Deve-se então, reduzir este risco β de 97,72% para 5% (0,05) o que significa que a probabilidade de “ação” estará em 95%. Qual seria, então, o número de amostras necessárias para se detectar o problema (mudança indesejável)?

Analisar da seguinte forma:

Tomando-se duas amostras consecutivas, qual a probabilidade de se obter pelo menos uma destas amostras fora do limite de controle?

O risco de não se obter isto é $= (1 - 0,0228)^2 = 0,9549$, onde 2 = número de amostras e 0,0228 o valor da “ação” para uma amostra.

No caso das duas amostras o risco β será, então, igual a 0,9549 = 95,49% e a “ação” (probabilidade de se detectar a mudança) estará em 4,51% ($1 - 0,9549$) para duas amostras.

Como se quer reduzir o risco β para 0,05 (5%) ou aumentar a “ação” para 95%, tem-se da relação acima: $(1 - 0,0228)^n = 0,05$ onde n é o número de amostras que deve-se retirar de modo a se obter 95% de probabilidade de haver pelo menos um ponto fora do LSC.

Assim, para o gráfico de controle \bar{X} / R_m tem-se:

$$x = \log 0,05 / \log (1 - 0,0228) = \log 0,05 / \log (0,9972)$$

$$x = 129,9 = 130 \text{ amostras}$$

Conclusão:

Para o gráfico de valores individuais, para se ter 95% de certeza de se detectar o problema com pelo menos 1 ponto fora do LSC, deve-se coletar pelo menos 130 amostras, o que é inviável. Conclui-se que a sensibilidade deste tipo de gráfico de controle (gráfico X / R_m) é muito pequena.

Gráfico \bar{X} / R com $n=5$

Para o gráfico \bar{X} / R o n é diferente de 1 ($n=5$). Então:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n} = 0,2 / \sqrt{5} = 0,09$$

$\sigma_{\bar{x}} = 0,09$ (a dispersão das médias no gráfico de controle \bar{X} / R é muito menor do que a dispersão dos valores individuais no gráfico de controle X / R_m , que é igual à dispersão da população).

Esta menor dispersão faz com que qualquer alteração na média seja sentida mais rapidamente pois a aproximação ao LSC é maior e mais rápida, porque a média das médias $\bar{\bar{X}}$ acompanha o deslocamento do μ como mostrado a seguir:

Pelo “Teorema da Tendência Central” $\bar{\bar{X}}$ é igual a μ . Como μ mudou para 100,7 então, $\bar{\bar{X}}$ passou também a ser 100,7.

O LSC é $100,5 + 3 \cdot \sigma_{\bar{x}} \rightarrow$ limite estabelecido para o processo qualificado = 100,77.

Então, tem-se a distribuição de freqüências das médias das amostras:

Figura 3: Distribuição dos valores (\bar{X}) no gráfico \bar{X}/R antes da mudança indesejável da média.

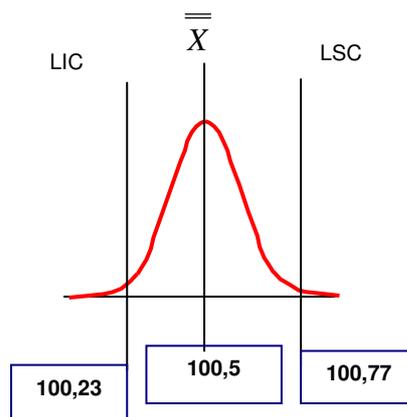
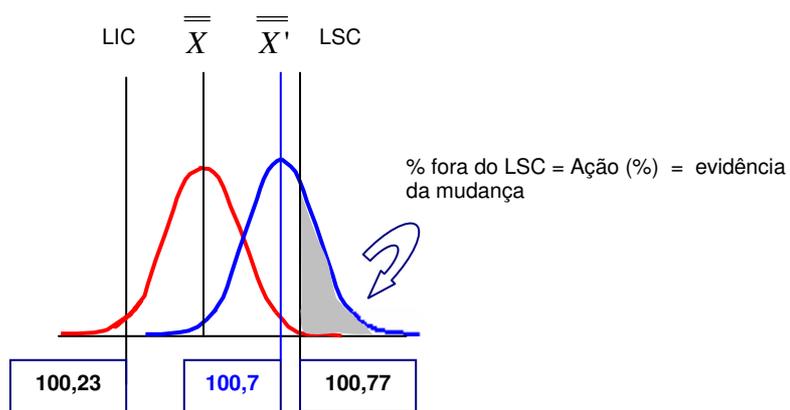


Figura 4: Distribuição dos valores (\bar{X}) no gráfico \bar{X}/R antes e depois da mudança indesejável da média.



Calcula-se, então o P_z = "Ação":

$$Z_{\text{acima}} = (100,77 - 100,7) / 0,09 \rightarrow Z_{\text{acima}} = 0,78$$

Da tabela da curva normal $Pz = \text{“Ação”} = 22,66\%$.

Isto significa que para o tamanho de amostra $n=5$ no gráfico \bar{X} / R a probabilidade de se detectar um ponto fora do LSC com uma amostra é de 22,06% (e, conseqüentemente o risco β é de 77,94%). Para que o risco β seja de 5% (e a “ação” 95%) tem-se:

$$(1 - 0,2206)^x = 0,05$$

$$x = \log 0,05 / \log 0,7794 = 12 \text{ amostras}$$

Isto significa que este gráfico de controle de médias de amostras é muito mais sensível que o de valores individuais.

Gráfico \bar{X} / R para $n=25$

Calculando-se agora para $n=25$ (lembrar que $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$) chega-se à conclusão que apenas uma amostra de $n=25$ dá mais de 95% de evidência da mudança (ação).

Resp: 1 amostra

2.8 Não normalidade em CEP

2.8.1 CEP ou Estatística? (adaptado de Dietrich, 2000)

Conforme Dietrich (2000), antes de se implantar o CEP tradicional é necessário utilizar métodos estatísticos apropriados para verificar os sistemas de medição, aceitar e qualificar as máquinas e equipamentos de produção e fazer a avaliação preliminar do processo. Apenas após satisfeitas estas condições, pode-se utilizar o CEP para monitorar as condições do processo estabelecidas durante estes estudos preliminares. Neste estágio, quaisquer mudanças significativas no comportamento do processo, devem ser identificadas.

Os dados coletados através do CEP permitem avaliar a capacidade do processo a médio e longo prazo.

No entanto, os procedimentos para o cálculo da capacidade devem permitir a consideração de situações reais do processo que é um pré-requisito vital para o uso prático destes métodos.

Quando se usa os gráficos de controle tradicionais desenvolvidos por Shewart, assume-se que todos os processos têm distribuição normal e média constante. Dietrich afirma que este tipo de processo raramente acontece na prática. Quando há variação excessiva, os seguintes fatores causam a não normalidade e média não constante:

- Variações no material

- Variações nas condições ambientais
- Desgaste no ferramental
- Variações induzidas pela máquina
- Variações induzidas pelo operador

Não é possível os processos terem a média constante sob estas condições. A consistência é um requisito para a aplicação da teoria tradicional do CEP mas, na realidade, o CEP tradicional não é aplicável à maioria dos processos reais.

Dietrich cita um exemplo, para ilustrar esta situação: o cálculo da capacidade a curto prazo (Ppk), do processo da característica altura do perfil, de uma peça usinada, considerando o procedimento do CEP tradicional, que assume a distribuição normal, fornece o valor $Ppk = 4,2$. Fazendo-se uma análise estatística mais apurada, considerando-se a distribuição real, o valor deste Ppk cai para 1,9, que é um valor bem inferior.

É obvio que a teoria deveria ser adaptada para atender às condições reais dos processos mas, embora já era conhecido o fato de que a maioria dos processos não podem ser descritos em termos da distribuição normal pressuposta pelo CEP, o uso continuou porque esta técnica era mais fácil do que elaborar um método para analisar ocorrências reais. Esta prática ainda não foi completamente eliminada na fabricação e é refletida em muitos procedimentos e técnicas de CEP.

A principal razão da persistência nas técnicas tradicionais de CEP é a falta de ferramentas tais como programas de computador e meios para avaliar a normalidade das distribuições. Mas, pode-se argumentar que é melhor não utilizar nenhuma técnica estatística ao invés de utilizar as técnicas erradas porque estas últimas conduzem ao agravamento do erro, podendo causar conseqüências sérias. É freqüente encontrar processos com índices de capacidade a longo prazo (C_p) menores do que 1,0 onde os valores individuais, baseados no processo controlado, têm uma dispersão de apenas 50% da faixa de tolerância. Por outro lado, encontram-se processos com mais de 20% de não conformidades com índices de capacidade C_{pk} calculados acima de 1,33. Nestas condições é de se estranhar que muitos não acreditam no valor do CEP para a produção?

Porque esta situação então continua? Uma norma internacional para índices de capacidade está ainda na forma de um documento em elaboração. Este documento contém descrições de diversos procedimentos mas a interpretação da aplicação prática é de responsabilidade do usuário. O guia para a expressão da incerteza de medição (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement : GUM) proporciona informações importantes sobre incertezas de medição mas a aplicação prática ainda está em discussão.

Dietrich continua dizendo que o treinamento não tem resolvido o problema em questão. Por questão de simplicidade, os cursos de treinamento e seminários de CEP limitam-se aos princípios básicos. Muitos programas de computador utilizados no treinamento são baseados em diretrizes ultrapassadas e não cobrem a diferença entre teoria e prática. Muitos

consultores e professores continuam com o CEP tradicional por falta de informação.

Muitos fabricantes, especialmente os da indústria automotiva, têm desenvolvido os seus procedimentos próprios. Estes procedimentos são coerentes em termos do objetivo mas variam consideravelmente nos métodos de avaliação. O estudo de aceitação de sistemas de medição pode resultar em mais de 20 métodos de avaliação. Como cada método utiliza fórmulas e parâmetros diferentes, a análise entre grupos de dados pode variar e a comparabilidade dos resultados não é mais assegurada.

Os fabricantes estão reconhecendo cada vez mais a dificuldade desta situação, bem com as pressões resultantes da falta de padronização. Aqueles que elaboram diretrizes estão empenhando esforços conjugados para alcançar a padronização. As diretrizes desenvolvidas pela Ford Motor Co. e General Motors Co. têm alcançado uma validade internacional no pano de fundo da globalização, pelo menos na área do trem motriz.

As várias diretrizes diferem pouco em termos do método fundamental de avaliação. As diferenças residem principalmente nos procedimentos, métodos de cálculo e requisitos mínimos. As empresas que se utilizam destes métodos deveriam escolher um procedimento adequado e mantê-lo para que pudessem ser obtidos resultados comparáveis entre as empresas.

Um procedimento esquemático para aceitação de máquinas e avaliação de processos, como é utilizado em muitas empresas atualmente, pode ser descrito assim: "O processo da avaliação é importante para a determinação de

modelos de distribuições de processos, cartas de controle e índices de capacidade. Apesar do processo geral ser uniforme, cada ponto de decisão permite uma certa quantidade de métodos de seleção e cálculo. As opções escolhidas devem ser documentadas para permitir comparações futuras e devem ser utilizadas em toda organização”.

Junto com este procedimento, o teste F, que testa a flutuação de médias, deve ser utilizado para verificar se a média está sujeita à mudanças ao longo do tempo. Se isso não for o caso pode-se assumir uma distribuição unimodal. Vários testes de ajuste da curva, como os utilizados para curtosis ou assimetria, revelam se a distribuição normal deve ser ou não rejeitada. No caso de rejeição da curva normal, as empresas deveriam buscar outros modelos de distribuições como a lognormal, Weibull ou Rayleigh. Havendo deslocamentos da média, o processo pode ser descrito em termos de uma mistura de diversas distribuições. Dependendo do modelo da distribuição, podem ser utilizados gráficos de Shewart ou Pearson ou um gráfico de Pearson com limites de controle estendidos.

Estabilidade do processo

No passado, a falta de ferramentas computacionais forçou a avaliação de conjuntos de dados com apenas alguns valores medidos, como um gráfico de controle com apenas 20 amostras de tamanho $n=3$ ou 5. Peças complexas,

com várias características importantes e grupos maiores de dados, que são comuns em produção automática, não podiam ser analisadas pelo processo manual ou, na melhor das hipóteses, com limitações. Esta condição tem um efeito dramático na estabilidade do processo.

Utilizando-se o indicador mais importante de processo fora de controle, do gráfico de controle, valores fora dos limites de controle, como exemplo, o cenário a seguir ilustra a necessidade de uma nova definição:

Em uma carta de controle de médias de amostras com os limites de controle a 99%, por definição, 1% dos valores, ou seja, 10 em 1000, espera-se estarem além dos limites de controle. Enquanto este valor não é ultrapassado, o processo pode ser considerado estável, porque estes valores pertencem à população normal. Quando um gráfico de controle é completado manualmente para 20 a 25 amostras, há uma probabilidade muito pequena de um ou mais valores estarem fora deste limites. No entanto, este não é o caso quando se avalia um conjunto maior de dados.

Considerações similares cabem aos outros critérios de estabilidade como corrida, tendência e violação da condição do 1/3 da faixa central. Se estes critérios de instabilidade são aplicados simultaneamente, um grupo maior de dados sempre traz evidências de instabilidade. Simulações extensivas e estudos com dados reais confirmaram este fato.

Uma nova definição de estabilidade

A nova definição de estabilidade poderia ser: “A quantidade de violações dos limites de controle, em um gráfico de controle, não pode exceder o intervalo aleatório da distribuição binomial limitado bilateralmente em 99%. Para um gráfico de uma variável de variação (especificação unilateral) esta regra se aplica apenas ao limite superior de controle.”

Esta definição se aplica a todos os gráficos de localização e de variação, inclusive gráficos de controle de parâmetros móveis. Notar que os critérios de violação como corrida, tendência e violação da condição do 1/3 da faixa central, devem ser desconsiderados porque são aplicáveis apenas a processos com distribuição normal com médias constantes.

Estatística: o CEP atualmente

Os métodos estatísticos utilizados na produção não significam simplesmente CEP no sentido tradicional. São métodos utilizados para verificar a adequação dos sistemas de medição, máquinas, equipamento de produção e a capacidade preliminar e contínua do processo. Deve-se iniciar com estudos de avaliação e análise dos valores de medição obtidos. Apenas após a adequação do sistema total – sistema de medição, máquinas, equipamento de produção e processo – ter sido confirmada, os dados devem ser registrados em gráfico de controle e analisados em tempo real, conforme os métodos de CEP. Isto envolve o seguinte:

- Um método eficiente, se possível, em tempo real e on-line, para registrar os dados e de arquivar os dados de processo e toda informação circunstancial, de forma estruturada. Esta é a única forma de se obter uma avaliação contínua e eficaz do processo, conduzindo à ações apropriadas de melhoria. Isto assegura o rastreamento de um processo capaz e, seguindo-se uma estratégia de avaliação definida, pode-se analisar dados em massa.
- O uso de gráficos de controle para controlar as condições do processo, bem com reconhecer e identificar desvios significativos no comportamento do processo, estabelecido na fase de qualificação. O CEP, no sentido tradicional não é mais necessário. Mecanismos de controle mais poderosos são necessários, especialmente para processos automáticos.

Sob estas condições, recalculer os limites de controle não é mais necessário. Para evitar confusão, recomenda-se fortemente que isto não seja feito. Para gráficos de controle no chão da fábrica os limites de controle devem ser colocados de forma a monitorar o processo de produção corrente mas não conduzir a indicações falsas de “não em controle estatístico.” O pessoal da produção perde a confiança no método se isto não for assegurado.

Estes procedimentos não são mais utilizados como um sistema que tem que ser seguido rigidamente. São utilizados como ferramentas para avaliar sistemas de medição, máquinas, equipamentos de produção e processos. São conduzidos estudos para investigar modelos alternativos de processos.

Avaliações automáticas proporcionam o histórico do processo. Ainda, as características podem ser tratadas de forma diferente, categorizadas como críticas, significativas, importantes, menos importantes e não importantes. As classes de características podem ter requisitos diferentes de capacidade, dependendo da significância, prevenindo discussões improdutivas sobre índices baixos de capacidade para características irrelevantes. Sendo a classificação implementada corretamente, as características e os processos com problemas podem ser isolados facilmente.

2.8.2 Distribuições Não Normais no mundo real (adaptado de Pyzdek, 1999)

Pyzdek diz que a análise de capacidade de processos (ACP) é um procedimento utilizado para prever a performance de processos sob controle estatístico, a longo prazo. Virtualmente todas as técnicas de ACP assumem a normalidade da distribuição do processo. Se o processo não for normal, o índice de capacidade C_{pk} poderá indicar um processo não capaz como capaz ou vice-versa. Estes métodos podem prever altos índices de rejeição quando na realidade não existe rejeição ou vice-versa.

A simples consideração da normalidade para cada processo inibe os esforços de melhoria na estratégia da melhoria contínua. Se a distribuição é assimétrica o alvo ou objetivo não deve ser no meio da faixa de tolerância e o

valor ideal para a média nunca é encontrado quando se assume normalidade. O plano de melhoria da qualidade deve começar com um entendimento claro do processo e de sua distribuição.

A falha em entender não normalidade conduz ao seguinte: aumento das taxas de rejeição, fracasso em detectar causas especiais de variação e oportunidades perdidas. O resultado são situações constrangedoras, perda de confiança no CEP e relações tensas entre cliente-fornecedor.

Exemplo

Os dados de uma operação de guilhotina têm a seguinte distribuição:

Tabela 1: Distribuição dos dados de uma operação de guilhotina.

Valores das células	Frequência	Frequência Cumulativa	Percentil $(i-1/2)/n$
12.5-14.0	4	4	0.0269
14.0-15.5	8	12	0.0885
15.5-17.0	3	15	0.1115
17.0-18.5	18	33	0.2500
18.5-20.0	17	50	0.3808
20.0-21.5	23	73	0.5577
21.5-23.0	29	102	0.7808
23.0-24.5	28	130	0.9962

Valor menor encontrado: 12,5

Valor maior encontrado: 24,1

A especificação de Engenharia é de 10,0 a 23,0 unidades.

Estes dados foram tirados de um gráfico de controle \bar{X} / R , sob controle estatístico, com 26 subgrupos e $n=5$.

Realizando-se um estudo de capacidade com estes dados, assumindo a distribuição normal, obtém-se os índices $C_p = 0,87$ e $C_{pk} = 0,54$. Isto significa mais de 5% de peças fora de tolerância, o que não acontece na prática.

A lição aqui é que é improdutivo usar rotinas estatísticas, introduzindo números nas fórmulas e aceitar os resultados cegamente. É uma boa prática elaborar o histograma dos dados após o controle estatístico e entender como o histograma obtido se relaciona com a realidade. Neste exemplo espera-se uma distribuição não normal porque os maiores valores estão limitados à distância da lâmina ao batente (não é possível cortar uma peça maior que esta distância) e o limite inferior está limitado a zero. O processo deveria ser descentralizado para o lado maior porque as peças fogem pouco do batente.

Pode-se calcular a capacidade do processo desde que se encontre uma curva que se ajusta à distribuição dos dados e depois usar este modelo para os cálculos. A tradução de Johnson é uma das abordagens de ajuste de curva. O sistema Johnson traduz qualquer distribuição contínua em uma distribuição normal, quando então se pode proceder à análise da capacidade.

Resumidamente, há três famílias de curvas de Johnson:

- Curvas S_u não limitadas, cobrindo as distribuições t e normais, entre outras.
- Curvas S_b , cobrindo as distribuições limitadas. As distribuições podem ser limitadas no extremo inferior, superior ou ambos.
- Curvas S_L , que cobrem a família lognormal

Para este exemplo, a curva Johnson que mais se adaptou foi determinada manualmente, utilizando o método descrito por Slifker e Shapiro (SLIFKER, 1980). Uma curva de Johnson S_b , de quatro parâmetros foi ajustada aos dados da frequência acumulada, oferecendo os seguintes estimadores:

$$\eta = 0,04816 \quad \gamma = 0,5705$$

$$\lambda = 10,1584 \quad \varepsilon = 14,2280$$

Como já foi mencionado antes, o sistema Johnson traduz qualquer distribuição contínua em uma distribuição normal. Para a família de curvas S_b a equação de tradução é a seguinte:

$$z = \gamma + \eta \ln \frac{x - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - x}$$

onde z é a variável da curva normal reduzida. Neste exemplo, a equação é a seguinte:

$$z = 0,5705 + 0,4816 \ln \frac{x - 14,2280}{24,3846 - x}$$

A família Johnson S_b é limitada no lado inferior por ε e no lado superior por $\varepsilon + \lambda$. Com os dados do exemplo, isto significa que o processo não deve produzir nada com valor da dimensão inferior a 14,228 ou maior que 24,3864. A limitação superior tem uma explicação física: o batente da guilhotina. A limitação inferior é simplesmente o resultado da matemática; nada impede ao operador da guilhotina de cortar a peça ainda mais distante do batente. De

fato, havia três valores abaixo do limite inferior. (No entanto, este não era o caso com a limitação inferior determinada através de métodos computacionais mais sofisticados).

Como ambas as limitações estão dentro do campo da especificação, pode-se esperar virtualmente 100% de conformidade, o que é o caso.

A determinação dos índices de capacidade é um pouco ardiloso. Como ambos os limites de tolerância estão além das limitações da curva ajustada, é impossível determinar o Cpk. Mesmo que fosse necessário a determinação do Cpk, a determinação do limite de tolerância mais próximo seria difícil. Como o batente da guilhotina proporciona um limite físico para a dimensão da peça, deve-se ajustar o centro da distribuição fora do meio do campo das tolerâncias, em direção ao lado superior. Este já é o caso dos dados da amostra que tem uma média de 20,5 ao invés de 17,5, que é o meio da especificação.

O cálculo do Cp pode ter duas abordagens. O Cp pode ser conceituado como a comparação da “tolerância natural do processo” ao requisito da engenharia (faixa de tolerância) ou seja:

$$Cp = (\text{Faixa de tolerância}) / 6\sigma = (LST - LIT) / 6\sigma$$

Para distribuições normais, sem limitações, a tolerância natural considerada é de 6σ .

Sob a suposição da normalidade, a determinação da tolerância se torna

arbitrária porque a distribuição normal é teoricamente ilimitada. Mas a distribuição de Johnson S_b é teoricamente limitada nos dois lados, e a distância entre a limitação inferior e superior é λ .

Portanto, a fórmula lógica para o C_p é a seguinte:

$$C_p = (\text{Faixa de tolerância}) / \lambda$$

No exemplo, obtém-se:

$$C_p = (23,0 - 10,0) / 10,1584 = 13,0 / 10,1584 = 1,28$$

Este índice C_p mostra que o processo é capaz de atender às especificações.

A segunda maneira de calcular o índice C_p é mais comparável ao método tradicional que considera a dispersão natural do processo representada por 6σ . Quando se usa o sistema de tradução de Johnson pode-se determinar o valor de x correspondente a qualquer curva normal padrão. Através do sistema de curvas S_b resolve-se a equação para o x :

$$x = \varepsilon + \frac{\lambda}{1 + \exp((\gamma - z) / \eta)}$$

Para o exemplo:

$$X = 14,228 + \frac{10,15884}{1 + \exp((0,5705 - z) / 0,4816)}$$

Resolvendo esta equação para $z = -3$ e $z = 3$ dá $x_{(-3)} = 14,234$ e $x_{(3)} = 24,321$.

A distância entre estes dois valores é: $24.321 - 14.234 = 10.087$

Este valor é análogo à distância correspondente a “dispersão natural do processo em 6σ ” para dados distribuídos normalmente. Portanto,

$$C_p = 13/10.087 = 1.29$$

Obviamente, estes últimos valores de C_p são bem melhores do que o valor inicialmente encontrado pelo método convencional ($C_p = 0.87$).

Antes do recurso dos computadores, a realização deste tipo de cálculo era um processo estafante, de várias horas de trabalho, sendo portanto, feito raramente. Atualmente, com a utilização do computador, com um software adequado, pode-se realizar a análise em poucos segundos. O computador acha a família de curvas Johnson que mais se adaptam, utilizando o método dos momentos, que proporciona resultados mais precisos que o método manual do histograma. O método dos momentos é inviável de ser feito manualmente mas o computador faz esta análise em poucos segundos. O computador exhibe os resultados da análise da capacidade através dos dois métodos (suposição da normalidade e curva mais ajustada). No caso deste exemplo, a análise da capacidade mostra o processo capaz pela curva mais ajustada enquanto que pela suposição da normalidade o processo seria considerado incapaz. Obviamente, a situação inversa ocorre também.

Conclusões e Recomendações sobre Capacidade (adaptado de Pyzdek, 1999)

1. Antes de tudo, obter o processo sob controle estatístico.
2. Certificar-se de que a curva escolhida ajusta-se à realidade do processo, especialmente nas caudas.
3. Lembrar que as conformidades às especificações são melhores através de medições diretas do resultado do processo. Fazer a confirmação do modelo de curva através de medições reais.
4. Ter sempre um olho crítico. Usar sempre o bom senso.
5. Confirmar o resultado previsto em partidas futuras. A probabilidade de isto ocorrer é maior quando o processo é mantido sob controle estatístico.
6. Não se deve determinar os índices de capacidade antes de se obter o processo sob controle estatístico. Usar gráficos de controle para identificar e remover as causas especiais de variação e depois computar a capacidade.

CAPÍTULO 3. SISTEMAS COMPUTADORIZADOS PARA COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA CEP

3.1 Introdução

Conforme Datamyte,1995, os sistemas computadorizados para CEP consistem basicamente dos seguintes subsistemas:

- Sistemas de medição eletrônicos
- Sistema de coleta e processamento de dados
- Software de CEP
- Treinamento das pessoas da fábrica nestas ferramentas.

3.2 Elementos dos sistemas computadorizados para CEP (adaptado de Datamyte, 1995)

3.2.1 Sistemas de Medição Eletrônicos

A indústria de instrumentos de medição foi revolucionada pela micro eletrônica. Por exemplo, indicadores mecânicos de ponteiro foram substituídos por indicadores digitais. Isto veio de encontro às necessidades

dos sistemas computadorizados para CEP. Estes sistemas de medição, que são utilizados nas estações de trabalho, para medir características do produto, devem ser eletrônicos e também ter saída eletrônica para possibilitar a coleta e transmissão eletrônica dos dados das medições. Assim os valores das medições são passados diretamente do instrumento de medição para o sistema de coleta de dados. Por exemplo, a medição do diâmetro de um eixo através de um micrômetro eletrônico se dá da seguinte forma:

- O operador posiciona o micrômetro no ponto de medição do eixo.
- O operador aperta um botão e o dado é enviado ao coletor.

Depois desta operação não é possível anular a medição.

O Manual Datamyte enfatiza que os sistemas de medição estão ficando cada vez mais leves e compactos. Muitas medições, que eram feitas em estações fixas de medição, são feitas por aparelhos portáteis. Esta condição melhora muito o fluxo interno do produto em elaboração porque o instrumento portátil faz as medições na linha de produção e o produto não precisa sair desta linha para ser encaminhado a um posto de medição.

Estes instrumentos portáteis podem ter o recurso de acumular os dados para CEP. Após a coleta de uma certa quantidade de dados leva-se o instrumento a um coletor de dados, onde os mesmos são repassados a um computador. Alguns instrumentos, que não têm o recurso de acúmulo de dados, são ligados ao coletor de dados através de um cabo ligado através de conectores instalados nos locais de medição. No futuro próximo os

dados poderão ser transmitidos ao coletor através de ondas eletromagnéticas do sistema de intranet.

Os sistemas de medição têm inteligência mínima mas é na qualidade dos sistemas de medição que reside o sucesso ou o insucesso da estatística para resolver e prevenir problemas de produção. O sistema de medição envolve o instrumento de medição propriamente dito, o operador, o procedimento de medição, a referência ou padrão e o ambiente.

Os instrumentos de medição devem ser precisos e exatos. Define-se precisão como pequena variabilidade e exatidão como pequeno desvio do valor verdadeiro. Ainda devem ter repetibilidade e boa reprodutibilidade entre operadores. É importante aproveitar as vantagens da nova tecnologia de medição.

Os equipamentos de medição, utilizados nas estações de trabalho, para medir as características do produto devem ser eletrônicos para possibilitar a coleta e transmissão eletrônica dos dados das medições ao computador. Uma vez que é necessário coletar os dados sistematicamente e transformá-los em informações úteis, com o mínimo de erros, o melhor sistema é aquele que passa as informações diretamente dos instrumentos de medições para o computador. Isto porque, instrumentos cujas medições devem ser lidas, requerem a anotação dos valores em papel. Esta condição convida a erros e causa muito trabalho em papel. A habilidade de administração dos dados coletados determina a quantidade de características qualitativas que a empresa pode controlar.

O objetivo primordial dos sistemas de medição é tornar as medições mais seguras e que exigem menos tempo. Com isto a obtenção de dados se torna mais confiável e mais eficiente.

Os instrumentos de medição para CEP devem ter as seguintes características:

- A habilidade de produzir dados variáveis. O CEP requer a detecção de mínimas mudanças do processo. Quanto maior a resolução do instrumento melhor. Geralmente, gabaritos tipo “passa / não passa” não são adequados para CEP.
- Repetibilidade e Reprodutibilidade (R&R). Medindo-se a mesma peça repetidamente pela mesma pessoa deve-se obter a mesma medição dentro da precisão necessária. Uma outra pessoa também deve reproduzir os resultados da primeira pessoa.
- Eficiência. O CEP requer a coleta de uma grande quantidade de dados. Para isto são necessários instrumentos de uso fácil que indicam o resultado da medição rapidamente e que podem ser utilizados repetidamente sem desgaste ou deterioração.
- Habilidade de suportar análises estatísticas. O CEP se baseia em grupos de dados mas um instrumento de medição fornece um dado por vez. Os dados das medições devem ser obtidos em formatos uniformes para os agrupamentos.
- Devem ter saída eletrônica de dados. O instrumento de medição que não tiver saída eletrônica, mesmo tendo leitura digital, está sujeito a

erro humano. O valor da medição está sujeito a erro de leitura, interpretação errônea ou anotação errada do valor. Estes potenciais erros humanos são resolvidos através da saída eletrônica dos dados ao sistema coletor de dados. O instrumento com saída eletrônica de dados acelera tanto a medição quanto o processamento dos dados em informação. A pessoa que está efetuando as medições pode-se concentrar no procedimento adequado de medição e o sistema coletor de dados pode transformar automaticamente o fluxo linear de dados em grupos de dados para análise.

3.2.2 Sistema de coleta e processamento de dados

O sistema coletor de dados é usado na fonte para armazenar dados em linguagem de computador e para proporcionar o feedback ao operador. Os coletores podem coletar os dados de vários instrumentos simultaneamente. A maioria dos coletores de dados concentram alguma inteligência podendo, por exemplo, comparar cada medição contra os limites de tolerância e os devidos subgrupos contra os limites de controle. Quando os resultados são indesejáveis o operador é alertado.

Ainda o sistema coletor de dados executa os cálculos estatísticos de vários instrumentos simultaneamente e exibe os gráficos de controle.

Em processos sem operador, os dados são coletados no lugar do processo e encaminhados para um computador em uma sala de controle. Uma outra alternativa seria utilizar periodicamente um sistema coletor de dados manual, com software de CEP embutido.

3.2.3 Software para CEP

O software para processar os dados deve transformá-los em informação útil para possibilitar decisões inteligentes. Boas decisões requerem informações boas e confiáveis. Um bom sistema de CEP informa à alta administração os problemas relevantes, filtradas pelo princípio de Pareto. O software também proporciona uma linguagem comum entre operadores e a administração para a discussão e solução dos problemas do processo tais como a capacidade do processo, sucata, retrabalho custo da má qualidade.

O documento primário do controle estatístico é o gráfico de controle. Inicialmente os gráficos são utilizados para estabilizar o processo que é chamado de “controle estatístico”. Um vez sob controle estatístico, o processo pode ser avaliado quanto à capacidade de produzir dentro das especificações de engenharia. Através do estudo da capacidade pode-se avaliar se o processo tem condições de produzir dentro das especificações de engenharia (processo capaz) ou, se isto não for o caso (processo não capaz), estimar qual o percentual de peças não conforme que se pode

esperar. No caso de processo capaz, faz-se a avaliação se o processo está na condição ótima ou deve ser ajustado. Assim previne-se peças não conforme e o processo produz peças com qualidade melhor, uma vez que permanece centrado no alvo ou próximo do mesmo. Isto porque, quanto maior o percentual de peças, com a característica em questão, perto do alvo, melhor é a qualidade. No caso de um processo não capaz, é inevitável a produção de um certo percentual de peças não conforme. Mas, mantendo o processo centrado minimiza-se a produção de peças não conforme. Entretanto, há o caso especial onde as não conformidades abaixo do LIT representam sucata e as não conformidades acima do LST permitem o retrabalho. Neste caso é mais econômico deslocar a média real do processo em direção ao LST para minimizar a sucata, mesmo obtendo-se mais peças que demandam retrabalho.

Um sistema computadorizado para coleta e processamento dos dados das medições, que fornece as informações em tempo real, permite ações corretivas rápidas, no caso de desvios, minimizando-se sucata ou retrabalho.

O elo mais fraco de alguns sistemas de coleta e processamento de dados para CEP está na entrada manual de dados. Neste caso o controle através do CEP se torna trabalhoso e ainda pode haver erros de digitação. A solução é um sistema automático de coleta e o envio direto dos mesmos ao computador para processamento.

Grant, 1988, diz no seu livro "Statistical Process Control" (p.143) o seguinte: "A escolha apropriada de software para CEP é difícil, na melhor

das hipóteses. No entanto, há algumas características necessárias, tanto para operações isoladas em um microcomputador quanto para vários terminais em uma rede de computadores:

- a) Primeiro e antes de tudo deve ser fácil de usar. Se operadores do chão de fábrica vão usar o sistema as opções devem ser limitadas e deve haver oportunidades freqüentes para a correção de erros. As instruções devem ser claras e deve-se oferecer várias instruções de ajuda "on-line".
- b) As telas de vídeo para gráficos \bar{X} / R devem exibir os resultados de pelo menos 20 subgrupos sendo normalmente os mais recentes.
- c) A saída para a impressão de gráficos de controle deve ser capaz de imprimir o arquivo completo ou qualquer parte do arquivo desejado pelo usuário.
- d) Os arquivos devem ter capacidade suficiente para pelo menos 300 subgrupos de tamanho típico (4 ou 5 medições). O usuário deve ter condições de adicionar ou eliminar dados do arquivo. Quando o arquivo ficar cheio deve ter o recurso de eliminar os dados mais antigos, de preferência copiar em papel para histórico.
- e) O usuário deve ter condições de calcular a média das médias $\overline{\bar{X}}$ e o \bar{R} de qualquer conjunto de subgrupos do arquivo e ter os limites de controle calculados automaticamente destes dados. Os valores numéricos devem ser visualizados ou impressos. A

eliminação ou não de pontos fora dos limites de controle para estes cálculos deve ficar a critério do usuário. Ainda, o usuário deve ter a opção de entrar diretamente com os limites de controle e a linha central.

- f) Deve ser possível desenvolver um histograma de todos os dados disponíveis ou de uma parte selecionada, com ou sem eliminação dos pontos fora dos limites de controle e ver o resultado na tela de vídeo ou impresso em papel ou, as duas alternativas. Estas informações podem ou não mostrar os limites de especificação (limites de tolerância) e prover os cálculos estatísticos da fração não conforme e os índices de capacidade.”

Várias empresas que fornecem sistemas de coleta de dados também fornecem também o software para CEP. O software de CEP deve possibilitar ao analista de ver o “todo” da organização e permitir a comunicação dos resultados a outros dentro da organização. Deve possibilitar a “customização” de tabelas e gráficos para cada empresa. Atualmente, devido à produção de peças múltiplas em vários processos complexos, é importante que o software de CEP permita ao Analista da Qualidade de selecionar a informação e a ver de diferentes formas.

Para permitir uma integração fácil e o uso efetivo do CEP em toda a organização, os pacotes de software para CEP devem suportar os padrões

de troca eletrônica de dados tipo EDI (Electronic Data Interchange) e os conceitos de sistemas abertos. Por exemplo, selecionando-se um pacote que não trabalha em um ambiente Windows e não suporta os padrões DDE da Microsoft (Dynamic Data Exchange) acaba-se gerando uma ilha isolada de dados. Mesmo para sistemas específicos de CEP e dedicados para um tipo de máquina, a falta de compatibilidade com padrões é um empecilho para o “upload” de dados para objetivos de análise mais ampla. Para sistemas de CEP que devem trabalhar em rede, como parte de um ampla base de dados, o suporte de outros padrões como o ODBC (Open Data Base Connectivity), se tornam requisitos indispensáveis para a troca de informações em tempo real através de toda a organização.

O software também deve possibilitar aos analistas de criar rapidamente novos tipos de coleta e análise de dados para “setups” de novas peças ou modificações de “setups” existentes, por mudanças da produção. Esta flexibilidade permite a implementação de controles de CEP para novos produtos e novos processos e também possibilita que diferentes departamentos e funções produzam relatórios específicos para sua necessidade.

Durante as últimas duas décadas a proliferação de softwares para CEP criou um leque grande de escolha. Alguns dos tipos básicos de softwares para CEP incluem:

- a) Sistemas de CEP embutidas nas máquinas de produção

A onda de CEP na indústria fez com que os fabricantes de equipamentos de produção e de medição oferecessem pacotes para CEP embutidos nos equipamentos e de oferecer métodos para conectá-los à coletores e processadores de dados de outras empresas. Estes pacotes de CEP, embora ofereçam condições úteis, como apresentar gráficos de controle \bar{X}/R , com média e limites de controle mínimo/máximo, são tipicamente mais apropriados para o processamento de lotes. Para análises mais profundas, ou para análise de produção múltipla, é recomendado implementar um pacote de CEP mais amplo e flexível.

b) Planilhas de cálculo de uso geral

A vantagem de utilizar planilhas de cálculo de uso geral está no fato de que as empresas já possuem algum tipo de software para planilhas de cálculo como o Excel da Microsoft. Com isso não se precisa investir dinheiro em um software. A desvantagem é que o usuário tem que ser o especialista em CEP ao invés de ele depender do software para a análise dos dados. Como a tarefa inteira de criar as planilhas de dados, estrutura de análise, gráficos, histogramas e cartas de controle cabe ao analista, o uso de um programa simples de planilha de cálculo não é muito mais que uma versão de cálculo manual assistida por computador.

c) Aplicativos específicos de CEP para software de planilhas de cálculo.

Há no mercado pacotes de CEP, de preço acessível, construídos diretamente em cima de planilhas de cálculo como o Excel da Microsoft, através da adição de funções específicas. Um exemplo é o SPC KISS da Air Academy Associates que é usado na fábrica de aviões da Lockheed Martin para analisar dados no chão da fábrica e conduzir melhorias de processo. Estes pacotes que foram desenvolvidos inicialmente para controle e análise individual, têm a grande vantagem de terem uma rápida e eficaz distribuição e uma interface direta com os usuários.

d) Sistemas isolados e integrados de CEP

A maioria dos pacotes de CEP atuais caem nesta categoria. Proporcionam uma ampla gama de capacidades em CEP dedicado, que pode ser distribuído em configurações isoladas ou em rede. Todos os pacotes de CEP são oferecidos no ambiente padrão Windows e suportam a troca de dados via DDE. No entanto, algumas empresas fornecedoras destes softwares o separam em módulos separados como análise, interface com a base de dados e conexão com a rede. Isto torna difícil a escolha do software adequado para cada caso.

3.3 Vantagens do Sistema Computadorizado sobre o Sistema Manual

A) Eliminação de erros

A.1) Eliminação de erros de leitura dos instrumentos de medição.

Os sistemas computadorizados passam a leitura do instrumento diretamente para o computador, impossibilitando um erro de leitura.

A.2) Eliminação de erros de anotação

Os sistemas computadorizados eliminam o erro da anotação errônea de um valor ou uma anotação ilegível

A.3) Eliminação de erros de interpretação

Os valores anotados em papel podem ser mal escritos e portanto, interpretados erroneamente.

A.4) Eliminação de erros de cálculo da média e amplitude ou desvio padrão da amostra (\bar{X} , R ou s).

O operador pode errar o cálculo destes parâmetros, mesmo tendo à sua disposição uma calculadora.

B) Eliminação da necessidade de uma calculadora

A calculadora, utilizada para os cálculos da média e amplitude / desvio padrão das amostras, por ser um objeto portátil, nem sempre está à disposição do operador.

C) Informações em tempo real para ação corretiva.

O feedback imediato do resultado da amostragem, proporcionada pelo computador, permite o ajuste do processo de forma mais eficaz.

D) Melhoria da comunicação entre operários do chão da fábrica com a administração.

Isto é proporcionado através da informação em tempo real nas estações de trabalho bem como nos terminais dos computadores nos escritórios dos administradores. Se o sistema estiver ligado em rede, os administradores poderão receber, no computador de sua mesa de trabalho, toda sorte de informações referentes ao CEP, incluindo cartas de controle, estudos de capacidade, etc. No caso de algum problema à noite, por exemplo, o engenheiro de produção pode ajudar a resolver o problema de sua casa.

E) Recebimento dos dados da produção, pelo cliente, em tempo real.

Quando o cliente exige em contrato o recebimento dos dados estatísticos do produto que compra, o sistema permite que ele receba a informação em tempo real. Isto é extremamente importante no sistema JIT porque qualquer problema de fornecimento pode causar grandes prejuízos ao cliente, como por exemplo a parada da linha de montagem deste cliente. Tendo a informação em tempo real, o cliente tem mais tempo para mudanças na programação da montagem.

F) Fornecimento da informação estatística ao cliente com aspecto profissional.

Cópias dos gráficos de controle fornecidas ao cliente via fax tem um aspecto não profissional porque muitas vezes os gráficos originais são

difíceis de ler ou rasurados. As cópias são muitas vezes ilegíveis porque, devido ao manuseio constante, é comum o papel dos gráficos ficar impregnado de óleo ou sujeira.

O sistema eletrônico permite a transmissão dos dados via Internet. Esta necessidade é importante no caso de fornecedores de peças montadoras de automóveis que têm no contrato de fornecimento a exigência de atendimento a certos requisitos estatísticos, como por exemplo índices de capacidade C_p e C_{pk} .

G) Diminuição do trabalho para o operador da máquina ou processo.

Os gráficos de controle manuais exigem um trabalho extra do operador da máquina. Isto faz com que alguns operadores queiram ganhar um salário maior porque acham que com o CEP precisam trabalhar mais. Este não é o caso dos sistemas computadorizados, que até facilitam o trabalho de inspeção para o operador. Se o operador, antes da implementação do CEP, apenas media as peças com certa frequência e anotava os dados em uma folha de papel, com o sistema automático, precisa apenas realizar as medições, sem anotar nada. Portanto o operador ganha tempo para trabalhos produtivos. O resultado das amostras em tempo real torna a prevenção dos problemas mais eficaz.

Em alguns casos, devido à economia de tempo com o controle através do CEP computadorizado, o operador pode operar simultaneamente, com a tarefa anterior, mais uma máquina de produção. A consequência é o aumento da produtividade.

H) O sistema computadorizado não permite a manipulação dos dados.

É comum com gráficos de controle manuais, sobretudo no turno da noite, que tem pouca supervisão, quando o valor de uma amostra cai além de um limite de controle, a re-amostragem. O operador, revestido com a melhor da boa vontade, quer realizar a sua cota de produção. Ele sabe que, quando há um ponto fora dos limites de controle, a produção deve ser interrompida para a determinação da causa especial. Ele sabe também que geralmente um ponto fora de limite de controle não significa produção fora dos limites de tolerância. Ele logo descobre que, quando uma amostra representa um ponto fora de um LC, uma segunda amostra geralmente representa um ponto dentro deste LC. O que ele faz então é descartar a primeira amostra com “problema” e coletar uma segunda amostra. Se a segunda amostra também estiver fora dos parâmetros, o operador coleta uma terceira amostra e, assim sucessivamente, até conseguir uma amostra “dentro”. Geralmente isto acontece por ignorância do operador em conceitos estatísticos. Ele acha que assim ele contorna o problema.

Com o sistema computadorizado isto não é possível porque as medições passadas ao computador não podem ser anuladas.

I) Pode-se substituir, facilmente, todos os gráficos \bar{X} / R por gráficos \bar{X} / s .

Os gráficos de controle \bar{X} / s são mais precisos porque o desvio padrão da amostra s leva em consideração todos os valores da amostra, enquanto a

amplitude R leva em consideração apenas o maior valor e o menor valor, desprezando os outros valores. É muito difícil para os operadores do chão da fábrica calcular o s , mesmo tendo à disposição uma calculadora com função estatística. Exige muito treinamento. No entanto, para ilustração, uma empresa de Curitiba, que fabrica bombas injetoras, usa, com sucesso, quase que exclusivamente, os gráficos \bar{X}/s . Esta empresa colocou em cada posto de trabalho, à disposição de operadores treinados, uma calculadora com função estatística. É fácil concluir que um sistema computadorizado adequado contorna todas as dificuldades mencionadas.

J) O computador causa um erro α menor.

O computador calcula os limites de controle e a linha média usando centenas de amostras. Com isto os limites de controle são mais reais conforme a população. No cálculo manual restrito à poucas amostras, os limites de controle são mais apertados, causando pontos fora dos limites de controle sem necessidade.

K) O computador verifica facilmente a normalidade da distribuição

O CEP convencional assume que a distribuição de freqüência dos dados é normal. Isto quase sempre não é verdadeiro. Neste caso os erros cometidos são grandes na avaliação da capacidade do processo. Ver Cap. 2 item 2.8.

3.4 Desvantagens do sistema computadorizado sobre o sistema manual

- a) Há necessidade de investimento em software e hardware.
- b) O sistema está sujeito à falhas

No caso de problemas com o equipamento não se pode controlar o processo. Para minimizar este risco recomenda-se anotar os valores da média e dos limites de controle. Quando acontecer o eventual problema pode-se continuar o controle através de um gráfico de controle em papel.

3.5 Avaliação econômica dos sistemas computadorizados para CEP

A seguir está um quadro que mostra quais os itens que devem ser considerados para a justificativa de um sistema informatizado para CEP. Os valores do exemplo são de um caso real de uma empresa que fabrica correntes de motosserra em Curitiba:

Tabela 2: Exemplo de avaliação econômica de sistema computadorizado para CEP.

ITEM	DESCRIÇÃO DO ITEM	VALOR (R\$) DO BENEFÍCIO/(CUSTO) ANUAL DO EXEMPLO
A	Depreciação: a depreciação deste tipo de equipamento é realizada em 5 anos, que é considerada a vida útil do sistema. Sendo, por exemplo, o investimento de R\$ 37.000,00, a depreciação é de R\$ 7.400,00 por ano. Deve-se considerar no investimento todos os gastos relacionados com o projeto incluindo-se a aquisição de instrumentos de medição digitais e a interligação destes instrumentos com o hardware do sistema.	(7.400,00)
B	Manutenção: deve-se prever algum gasto com manutenção. Uma estimativa conservadora é considerar 50% do valor do projeto, durante o período de vida útil do sistema.	(3.700,00)
C	Eliminação de despesas com material: O sistema computadorizado elimina despesas com papel e fotocópias necessárias no sistema de gráficos de controle em papel.	2.400,00
D	Eliminação de despesas com mão de obra direta: deve-se considerar a mão de obra de inspetor da Qualidade necessária para o re-cálculo dos limites de controle, cálculo dos índices de capacidade com o sistema de gráficos de controle em papel. Ainda, quando o sistema computadorizado para CEP proporciona a operação simultânea de várias máquinas de produção, deve-se considerar o custo da redução da mão de obra na operação destas máquinas.	28.500,00
E	Eliminação de despesas com mão de obra indireta: deve-se considerar neste item as despesas de mão de obra indireta eliminada, como por exemplo, o arquivamento dos gráficos em papel. Neste exemplo, este item não foi considerado.	
F	Cálculo do Tempo de Retorno do Investimento *:	2,10 anos
G	Cálculo da Taxa Interna de Retorno *:	38,4 %

* Taxa de juros: 0% aa ; Taxa do imposto de renda: 30%

(ver cálculos no item 8.1 p. 122);

No caso, o investimento neste sistema computadorizado para CEP, do ponto de vista financeiro, é muito bom, porque a empresa deste exemplo classifica como excelente um investimento com um Tempo de Retorno do Investimento de até 3,0 anos. Além disto, considerando-se os benefícios intangíveis da melhoria da qualidade do produto, o projeto se torna ainda mais atraente.

CAPÍTULO 4: AUMENTO DA PRODUTIVIDADE ATRAVÉS DE SISTEMAS COMPUTADORIZADOS PARA COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS PARA CEP

4.1 Introdução

Hoje, mais do que antigamente, o controle apurado do custo é fundamental. Por isto é necessário a análise detalhada de todos os componentes do custo. Como foi visto anteriormente, pequenas diferenças no custo podem ser a diferença entre tornar lucrativo ou deficitário um determinado produto. Os fatores que contribuem mais para a Redução dos Custos são:

- Melhoria da Qualidade (medida através do custo da má qualidade)
- Incremento da Produtividade

Fala-se muito em aumento da produtividade industrial. O que é produtividade?

Segundo Campos, 1992, a definição é bem objetiva:

Produtividade = valor produzido/ valor consumido = Taxa de valor agregado

Campos, 1992, afirma:

“Para aumentar a produtividade de uma organização humana, deve-se agregar o máximo de valor (máxima satisfação das necessidades dos clientes) ao menor custo.”

A produtividade deve ser medida em termos quantitativos e qualitativos. As principais preocupações do engenheiro de produção devem ser a **redução dos custos** e o **aumento da produtividade**.

O aumento da produtividade está baseado na interação de três fatores condicionantes, chamados de triângulo da produtividade:

Triângulo ou tripé da produtividade:

- JIT (Motor)
- TQM (Combustível)
- ENVOLVIMENTO DOS FUNCIONÁRIOS (Lubrificante)

O sistema JIT pode ser considerado o “motor” da produtividade porque é um sistema de “puxar” a produção, ao contrário do sistema convencional onde cada área produtiva “empurra” a produção para frente. Como o sistema JIT trabalha com pequenos lotes de material ou peças, produzidas no tempo exato, força-se que tudo que é produzido tenha a qualidade requerida. Para que o produto tenha qualidade, os processos precisam estar sob controle e ter pequena variabilidade. Para isto é necessário que os equipamentos tenham a capacidade qualitativa e quantitativa comprovada estatisticamente e sejam confiáveis. Portanto, a manutenção preventiva é indispensável.

O TQM pode ser considerado o “combustível” da produtividade. O TQM é um conceito mais amplo do TQC (Total Quality Control) que era restrito à área de manufatura. O TQM envolve todos os departamentos da empresa.

Sem o TQM o JIT simplesmente não funciona. O papel do CEP dentro do TQM ou “Qualidade Total” é de importância fundamental.

O Envolvimento dos Funcionários pode ser considerado o “lubrificante” da produtividade. Os funcionários devem estar comprometidos com o JIT e o TQM e ter participação ativa. Sem este envolvimento, o sistema trava ou terá um desgaste prematuro. Sempre há funcionários, principalmente entre os mais antigos, que acham que estas técnicas modernas não funcionam e boicotam as mudanças ou não as apóiam. Por isto é fundamental que as novas técnicas industriais sejam impostas e acompanhadas pela alta direção. O problema é que o homem, por natureza, é resistente à mudanças e qualquer mudança exige um sacrifício. Qualquer mudança apresenta desvantagens. O trabalho da administração é convencer a todos os colaboradores que as vantagens do novo sistema superam as desvantagens.

A “onda” atual da Qualidade Total é denominada de Estratégia de Gestão SEIS SIGMA. Nesta estratégia enfatiza-se muito o envolvimento dos funcionários nos projetos de melhoria contínua. Alguns funcionários recebem treinamentos especiais e têm dedicação exclusiva para esta estratégia.

As pessoas que se utilizam da ferramenta CEP devem estar familiarizadas com os conceitos de Just in Time (JIT) e Total Quality Management (TQM) porque estes proporcionam um esqueleto para a abordagem de problemas de qualidade a nível de fábrica.

Com CEP, a tarefa de reduzir as variações do processo, conduz além dos limites do processo. As preocupações com a adequada manutenção de máquinas, ajuste e operação conduzem a outras preocupações como métodos

mais simples, matéria prima mais uniforme e manuseio mais adequado do material. As melhorias de qualidade e produtividade logo se tornam uma questão *ambiental*; isto é, as ações corretivas indicadas através do CEP podem documentar a necessidade de melhorias em quase todos os ambientes da fábrica.

O controle através do CEP pode ser feito manualmente, através de cartas de controle em papel, ou através de sistemas automáticos, computadorizados.

Os sistemas computadorizados para coleta e processamento de dados para CEP se encaixam melhor no TQM com objetivo de controlar e melhorar a qualidade. Estes sistemas apresentam os seguintes benefícios:

- I) Melhoria da capacidade do processo. A capacidade dos processos é melhorada pelas seguintes razões:
 - Visualização do processo em tempo real, permitindo ações corretivas imediatas.
 - Eliminação de erros de entrada de dados e de plotagem
 - Eliminação de erros de cálculo
 - Indicação clara em caso de problemas
 - Facilidade de detecção da causa especial

Os resultados da melhoria da capacidade do processo são:

- a) Redução de lotes rejeitados por problemas de qualidade.

Isto é muito importante para que o sistema JIT funcione sem trancos, já que trabalha sem estoques de reserva.

b) Redução de sucata.

A sucata, além do custo, causa a perda do controle sobre as quantidades de peças em processamento uma vez que se programa exatamente a quantidade necessária.

c) Redução do retrabalho

O retrabalho causa descontinuidade nas operações porque a mão de obra está dimensionada apenas para o trabalho produtivo.

II) Plotagem automática dos pontos nos gráficos de controle.

Isto tem como consequência a redução do tempo de inspeção ou controle da qualidade pelo operador da máquina ou processo. Para comparação, com gráficos de controle tradicionais em papel, o operador fazia o seguinte:

- anotar os valores medidos
- calcular a média e a amplitude
- plotar os valores no gráfico

Como os operadores de produção são responsáveis pela qualidade, devem ter à sua disposição meios eficazes para controlar a qualidade da produção. A redução do tempo de inspeção, que é um trabalho que não agrega valor, permite a realização de mais trabalho produtivo, como a operação de várias máquinas por um operador. Esta redução do tempo é conseguida pelos cálculos

automáticos das médias e plotagem dos pontos nos gráficos de controle.

De acordo com o “DataMyte Handbook”, 1995, é muito importante também um programa de certificação de fornecedores porque isto pode prevenir problemas de qualidade antes do recebimento.

Ainda há pouco tempo, muitos empresários pensavam que o maior fator de custo do processamento industrial era a utilização das máquinas. A mão de obra, especialmente no Brasil, era considerada de custo relativamente baixo. Buscava-se a maximização da utilização das máquinas. O autor deste trabalho lembra bem que o gerente industrial da empresa onde trabalhava, ficava impaciente quando ele não escutava mais a prensa de estampagem trabalhar. Quando isto acontecia, ele saía da sala para verificar o que estava acontecendo. A consequência era a produção de peças estampadas em excesso, aumentando os custos inerentes aos estoques.

Nos anos 80, o ocidente despertou para o fato de que, normalmente, a mão de obra era o recurso mais valioso. Geralmente as máquinas são depreciadas em 10 anos. Mas, depreciação não é necessariamente, desvalorização, porque após 10 anos de utilização, a maioria das máquinas ainda têm um valor residual considerável. O custo de manutenção também é reduzido através da manutenção preventiva que se faz necessária quando se trabalha com o sistema JIT. Descobriu-se que a mão obra pode ter utilização 100%. Isto se torna possível através de funcionários

multifuncionais, que são pessoas treinadas em múltiplas tarefas. No começo da revolução industrial a mão de obra era composta de camponeses, sem qualificação técnica e com baixo nível de escolaridade. Então ensinava-se uma única tarefa aos funcionários que passavam a repetir esta tarefa durante todo tempo. Eram, por exemplo, especialistas em apertar parafusos. Mas, com o correr do tempo, o nível de escolaridade aumentou e a cultura industrial se sedimentou. As pessoas que trabalhavam na indústria queriam desafios maiores e não queriam mais trabalhos repetitivos. Os empresários também descobriram que havia um grande potencial em aproveitar, além das mãos e dos braços, também a cabeça dos empregados. O que demonstrou isto ao mundo foi o grande sucesso dos “Círculos de Controle de Qualidade” no Japão. A idéia é aproveitar ao máximo a força de trabalho. Os equipamentos podem ficar parados mas os funcionários não.

O periódico “The Japan Economic Journal” diz o seguinte, em sua edição de 30/03/1982:

“O sistema Toyota de produção está obtendo, atualmente, um grande interesse no Japão, visto que a Toyota é uma das poucas companhias que passaram pelas duas crises de petróleo mantendo uma grande lucratividade. Existem muitas provas de sucesso da Toyota. Ela, hoje, por exemplo, não deve um centavo aos bancos. Diz-se de fato, que os ganhos da Toyota com os excedentes são idênticos aos de um dos maiores bancos do Japão.

Na produção da Toyota o sistema JIT é também amplamente conhecido como uma filosofia que ultrapassou o sistema Taylor (gerenciamento científico) e o sistema Ford (o conceito da linha de produção em grande escala)".

De acordo com Taiichi Ohno (Ohno,1988), que foi o pioneiro na introdução deste sistema sem paralelo na Toyota, ele surgiu da necessidade de desenvolver-se um sistema de produção de automóveis de vários modelos diferentes em pequenas quantidades dentro da mesma linha de montagem. Ao mesmo tempo, estava convencido que o sistema deveria estar engrenado para acabar com todos os tipos de desperdícios. Ohno afirma que existem os seguintes tipos de desperdícios dentro de um processo de produção:

- A) Produção de unidades em excesso.
- B) Espera do maquinário.
- C) Transporte do material.
- D) O processo em si.
- E) Estoque
- F) Fabricação de unidades defeituosas.

Os dois pilares principais na eliminação destes desperdícios no sistema de produção da Toyota são:

- O conceito do momento exato (JIT)
- Automação

4.2 Fabricação Just in Time (JIT)

Há muitos artigos e livros sobre o assunto de JIT. A principal fonte de informação utilizada nesta seção é o livro de Richard J. Schonberger, 1984: “Japanese Manufacturing Techniques, Nine Hidden Lessons in Simplicity”. Just in Time é uma estratégia de manufatura para aumentar o lucro e a posição competitiva. Não é simplesmente um meio para reduzir estoques ou forçar fornecedores de entregar em pequenos lotes. O JIT é um meio para reduzir todos os desperdícios. É baseado na idéia de que a empresa deve comprar ou produzir somente o que for necessário e quando for necessário. O sistema JIT tem como objetivo a entrega de materiais e ferramentas no tempo certo tendo como consequência vários benefícios. Alguns dos benefícios de qualidade e produtividade são:

- Os trabalhadores se tornam responsáveis em produzir peças sem defeitos, resultando em menos sucata, retrabalho, perda de material e perda de tempo de trabalho.
- Há mais consciência das causas de atrasos e defeitos.
- A motivação dos funcionários atinge níveis mais elevados.
- Há um ambiente propício para melhorias de qualidade de âmbito geral.
- Aumenta a produtividade e diminui o custo – que motiva um esforço contínuo de melhoria da qualidade.

O sistema JIT foi desenvolvido no Japão por companhias que têm produção em série, que têm demanda intensa de mão de obra e capital. O JIT

é uma guinada de 180 graus do estilo tradicional de fabricação dos EUA que tem um layout departamental, grandes estoques, sistema complexo de manuseio de materiais e sistemas computadorizados de controle de produção. Ao invés de focar em automação da fábrica e sistema complexos de controle, o JIT objetiva a simplicidade e o seqüenciamento do fluxo de bens e mão de obra.

O sistema JIT representa um compromisso com a qualidade. Em um sentido, a companhia que utiliza JIT aposta todo seu processo de produção na qualidade de seus bens. Se não houver defeitos, o processo opera bem; no entanto, se houver defeitos, o processo emperra. Defeitos se tornam doenças dos quais o corpo inteiro sofre e, portanto, devem ser tratados de forma rápida e eficiente. Isto não acontece com a produção tradicional de grandes lotes, onde um certo nível de defeitos é considerado inevitável e, para manter o processo operando continuamente, produz-se grandes bateladas de peças para sempre haver peças boas disponíveis. Pode-se afirmar o seguinte:

“OS ESTOQUES ENCOBREM OS REAIS PROBLEMAS DE PRODUÇÃO”

Com os estoques reduzidos, a produção de peças sem defeitos se torna muito mais importante. Uma peça com um defeito causa a quebra da corrente de produção e pode causar a parada do processo inteiro. No sistema de produção com lotes grandes, uma peça defeituosa simplesmente é lançada na pilha de sucata ou embarcada para o cliente, e a produção não pára porque o operador simplesmente pode pegar outra peça da caixa.

As práticas do sistema JIT combinam com a aplicação do CEP para melhorar a qualidade. O JIT requer que cada trabalhador esteja consciente dos requisitos de qualidade de seu trabalho e assegurar que estes requisitos sejam atendidos. Cada trabalhador deve conhecer os requisitos de qualidade em cada estação de trabalho e se sentir responsável pela mesma. Este sentimento de responsabilidade não é uma consequência de coação e sim , uma motivação pessoal, continuamente reforçada através do relacionamento com os outros trabalhadores da fábrica.

Embora difícil de aplicar na prática, o ideal da prática JIT é cada trabalhador passar fisicamente a peça que ele fez para o trabalhador seguinte da linha. Isto tende a produzir um sentimento forte de orgulho, responsabilidade social e trabalho em equipe. Cada trabalhador sabe que o próximo trabalhador depende de que a peça seja bem acabada e feita no tempo certo para fazer o seu trabalho. Esta motivação é perdida quando o trabalhador simplesmente coloca a peça numa caixa e esta caixa é levada por uma esteira ou empilhadeira para um destino desconhecido do outro lado da fábrica.

Como já foi dito anteriormente, o compromisso com o sistema JIT é parte do alvo central de reduzir custos de produção através da redução de desperdícios. O JIT pode ser iniciado na fábrica com as seguintes práticas:

- Reduzindo o tamanho dos lotes
- Reduzindo os tempos de “setup”
- Implementando TQM
- Implementando um sistema de puxar a produção
- Organizando a fábrica para a produção em fluxo contínuo

- Eliminando estoques de segurança
- Simplificando as práticas de aquisição de bens.

O conceito do momento exato significa que a peça necessária na quantidade necessária é trazida ao processo seguinte no momento exato.

De maneira a atingir este conceito, Ohno reverteu a ordem normal do pensamento. No processo normal de pensamento, as unidades são sempre entregues ao próximo processo. Ohno imaginou que se este se invertesse, alguém teria de tão somente dirigir-se ao processo anterior para obter a quantidade necessária de unidades num determinado momento.

Como ferramenta para comunicar esta mensagem usou-se a palavra KANBAN. É uma palavra japonesa que significa cartão, avisos ou etiquetas.

O conceito do momento exato traz as seguintes vantagens:

1. redução no tempo de envio;
2. redução do trabalho além do tempo de processamento;
3. menor estoque;
4. melhor equilíbrio entre diferentes processos e
5. mostra onde existe um problema.

4.3 Automação (Automação Parcial)

Conforme Ohno, 1988, o segundo pilar do sistema Toyota de produção é a Automação (não é automação).

Automação é uma palavra inventada e significa que a máquina está equipada com conhecimento humano para parar automaticamente sempre que haja algo de errado com ela.

A diferença entre máquina automática e máquina autônoma é a seguinte:

- Máquina automática – detecta uma condição anormal e a corrige automaticamente.
- Máquina autônoma – detecta uma condição anormal e pára, acendendo-se uma luz de advertência.

Todas as máquinas na Toyota são equipadas com um mecanismo de parada automático. Ohno afirma que isto provocou uma ruptura revolucionária no centro de produção, visto que o operário não necessita observar a máquina quando ela está funcionando bem, e se dirige à mesma somente quando ela tiver parada. Portanto, possibilita ao operário tomar conta de várias máquinas ao mesmo tempo, com grande incremento na sua produtividade. Dá também maior flexibilidade ao desempenho das máquinas e processos de produção. Este conceito estendeu-se ao trabalho de montagem manual e o montador tem poder para parar a linha sempre que exista algo errado.

A armadilha das automações modernas é que produzem peças em excesso, não importa qual a necessidade do processo seguinte, e tão logo aconteça algo errado produzirão pilhas de peças defeituosas, visto que a máquina automática normal não tem um mecanismo que observe o seu defeito. Portanto, na Toyota, um dispositivo especial é embutido dentro de cada

maquinário de maneira a pará-lo automaticamente tão logo um defeito seja detectado”.

Kiyoshi Suzuki, em seu livro “The New Manufacturing Challenge, 1987 ” diz o seguinte sobre autonomia que é chamado de “*Jidoka*”:

“Mesmo que haja melhorias no layout da fábrica, equipamento e habilidades dos trabalhadores não haverá ganhos substanciais sem um sistema confiável de “feedback”. A detecção rápida de problemas ou falhas é especialmente importante para se tomar as ações corretivas.

Suzuki, 1987, ainda diz que para desenvolver este sistema de feedback, no entanto, é válido comparar as operações de uma fábrica às de um corpo sadio onde nervos e músculos estão bem coordenados. O corpo humano tem um sistema de nervos reflexivo, que responde quase imediatamente, para que os músculos possam reagir à coisas como tocar uma chapa quente. Adicionalmente, o sistema de nervos autônomo responde a atividades como comer e fazer exercício, onde os músculos do estômago e do coração respondem autonomamente.

Em contraste a isto, nas nossas atividades de produção, dependemos pesadamente do poder da nossa mente. No entanto, ao invés de gerar pilhas de relatórios de computador cheios de números, ou depender de manuais e materiais de referência que se avolumam sobre nossos arquivos de aço, precisamos desenvolver e utilizar os nossos nervos reflexivos e autônomos para resolver os problemas no chão da fábrica tão logo apareçam.

Como no caso de fazer exercícios para desenvolver os nossos corpos para competições esportivas, precisamos desenvolver a nossa habilidade de tomar as ações apropriadas em introduzir um sistema de feedback efetivo e desenvolver as pessoas para trabalhos em equipe.

Máquinas automáticas são comuns nas fábricas modernas. Os operadores destas máquinas não precisam usar os seus braços; simplesmente apertando um botão, as máquinas trabalham sozinhas.

Isto é um grande avanço das máquinas antigas que demandavam uma mão de obra intensiva. No entanto, a maioria das máquinas automáticas tem limitações. Normalmente não detectam problemas enquanto trabalham nem têm julgamento para determinar quando devem parar de trabalhar.

Como resultado, os operadores precisam vigiar as máquinas enquanto trabalham. Mas, fazendo os operadores vigiar as máquinas, não agrega valor ao produto. Se pudermos aproveitar este tempo perdido separando os operadores das máquinas, então os operadores podem realizar trabalhos extras. Para tornar isto possível, no entanto, precisamos incrementar as capacidades das máquinas. Quando aparecerem condições anormais como defeitos, quebra da ferramenta, ou falta de suprimento de peças, a máquina deveria parar a operação e enviar um sinal, solicitando ajuda ao operador. A máquina deveria ter inteligência em detectar estas condições anormais e informar ao operador para tomar as ações necessárias.

Jidoka (autonomação) é um conceito desenvolvido no Japão para proporcionar máquinas com capacidade autônoma de usar julgamento. Sem

este conceito, a máquina pode-se movimentar sozinha mas pode não realizar trabalho produtivo.

4.3 Exemplos de Automação

4.4.1 Exemplo de operação com guilhotina (adaptado de Suzaki,1987)

Em uma operação com guilhotina, o operador estava parado sem fazer nada enquanto a máquina estava trabalhando. Para utilizar melhor o tempo do operador, investigou-se os requisitos para a operação desta máquina sem operador e fez-se as seguintes melhorias:

1. Foi instalada uma chave de fim de curso para detectar a necessidade de repor a bobina. Quando a bobina estava quase chegando ao final, uma lâmpada do painel de luzes (chamado de *Andon* em japonês) acende e um alto falante soa para que o operador possa preparar a bobina seguinte.
2. Foi instalado um contador na máquina para monitorar a quantidade de cortes. Quando a quantidade de chapas requerida é completada, o painel de luzes e a cigarra sinalizam ao operador.
3. Foi instalado um sensor para monitorar por problemas da máquina. Quando o sensor está acusando a presença de material por um tempo mais longo que o previsto, a máquina pára automaticamente e o painel de luzes e a cigarra sinalizam ao operador.

Com a implementação destas melhorias, a produtividade da mão de obra aumentou significativamente. O operador agora tem tempo para outras tarefas, como garantia da qualidade e outras operações mais importantes que agregam valor.

4.4.2 Exemplos diversos (adaptado de Suzaki,1987)

- Uma máquina de injeção de plástico tem um reservatório para matéria prima grande e um pequeno. Quando o nível da resina no reservatório pequeno chega ao nível mínimo, um detector emite um sinal para a alimentação da resina do reservatório grande até o nível apropriado.
- Quando acontece um problema em uma máquina ferramenta, um detector (amperímetro ou sensor de proximidade) pára a máquina e emite um sinal para informar ao operador da condição anormal.
- Chaves de fim de curso controlam os níveis de inventários entre processos e, com isso, o desperdício associado à produção em excesso.”

4.5 Exemplos de Automação com Sistemas Computadorizados para CEP

4.5.1 Exemplo de máquina de montagem de correntes de moto-serra

Em uma máquina de montagem automática de correntes foram instalados vários sensores para parar a máquina no caso de uma anormalidade:

- a) Célula fotoelétrica para detectar a presença do rebite.
- b) Sensor de proximidade magnético para detectar a presença do elo de união.
- c) Chave de fim de curso para detectar a altura de rebitagem (verificar a qualidade da rebitagem).
- d) Dispositivo para verificar a existência de juntas apertadas no produto corrente.

O autor deste trabalho entende que a utilização de um sistema automático para coleta e processamento de dados para o CEP contribui para a operação de várias máquinas por uma pessoa ou para o operador realizar trabalhos que agregam valor. As razões do aumento da produtividade através desta implementação são as seguintes:

1. O operador não perde tempo em anotar os dados das medições, cálculo da média, cálculo da amplitude R ou desvio padrão s e plotagem dos pontos no gráfico. Esta perda de tempo é mais acentuada quando se usa o gráfico \bar{X} / s que exige o emprego de uma calculadora científica e treinamento específico do operador.
2. No caso de uma condição de “fora de controle estatístico” o operador não perde tempo em verificar os seus cálculos para se certificar de que ele não cometeu um erro (ele é obrigado a aceitar a

informação no caso de computador). Isto seria a verificação de um possível erro α .

3. Diminui a probabilidade de ocorrência de um erro β , que provoca a não detecção de uma condição fora de controle e que pode causar uma não conformidade. Esta não conformidade, se for grave, pode significar a disposição das peças produzidas para sucata. Esta produção que virou sucata, além do custo, ainda exige mais produção para recuperação, ou seja, deve-se produzir duas vezes determinada ordem de serviço. Mesmo que a condição “não conforme” não cause sucata, as peças precisam ser colocadas de lado até a decisão pela disposição. Esta disposição pode ser: use como está, retrabalho, reclassificação, etc. Como a fábrica não pode parar, outras peças são produzidas no lugar do lote rejeitado com problema. Mesmo que a disposição seja “use como está” haverá aumento do inventário e transtornos no fluxo do material, porque este lote de peças deve esperar pela próxima programação. No caso de disposição “retrabalho”, além dos inconvenientes citados, existe ainda o custo do retrabalho. Ainda deve ser enfatizado que um produto retrabalhado dificilmente tem a mesma qualidade do produto que foi produzido certo pela primeira vez.

4.5.2 Exemplo de avaliação econômica da viabilidade do investimento em automação com sistemas computadorizado para CEP em um sistema de produção (operação com tornos)

O exemplo a seguir, para fins didáticos, mostra que a operação simultânea de várias máquinas por operador pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade da mão de obra. A aplicação é ainda mais interessante quando existe forte sazonalidade durante o ano. O exemplo mostra que é necessário fazer um “trade-off” entre a produtividade dos equipamentos e a produtividade dos homens ou seja, para se aumentar a produtividade da mão de obra, é necessário sacrificar a produtividade das máquinas. Geralmente, isto implica em investimentos na compra de mais máquinas para manter a capacidade produtiva

Descrição da situação:

Uma fábrica tem um departamento com 15 tornos manuais, com um operador por máquina, produzindo, de forma constante, 45.000 peças/mês de um único produto, que tem uma venda de 540.000 peças por ano, sendo que a demanda tem forte variação sazonal (ver tabela 3). A taxa horária de produção líquida de cada torno é de 20 peças, considerando a eficiência. O administrador desta indústria quer aumentar a produtividade através da **autonomação** dos tornos existentes, fazendo com que uma pessoa opere várias máquinas. Para isto vai instalar um sistema automático de coleta de dados para CEP para que os operadores tenham tempo suficiente para as atividades que agregam valor.

Há informações confiáveis de que a taxa de produção dos tornos com a automação é a seguinte:

- 1 operador para 2 máquinas: 16 peças/ torno
- 1 operador para 3 máquinas: 14 peças/ torno
- 1 operador para 4 máquinas: 12 peças/ torno (maior quantidade de máquinas/ operador)

O administrador também quer eliminar os estoques em produto acabado para atender à demanda variável, produzindo mês a mês a demanda prevista. A diretoria não permite estabelecer um segundo turno, mas concede até 5% da MOD em horas extras. Como há espaço ocioso na fábrica, é possível comprar e instalar os tornos adicionais necessários. Os custos de investimento são os seguintes:

- compra de cada torno (sem automação): R\$ 40.000,00 (com o ferramental)
- automação de cada torno: R\$ 3.000,00
- sistema de coleta automática de dados para CEP: R\$ 2.000,00/torno.

Dados adicionais:

- Custo da manutenção e energia elétrica de cada torno: R\$ 1,00/hora
- Custo do HH com encargos: R\$ 8,00
- Acréscimo da hora extra: 50% (R\$ 12,00)
- Trabalho normal em um turno de 8,0 H/dia e 20 dias/mês

- É possível contratar mão de obra temporária, durante três meses, pelo custo de R\$ 6,00/hora. Os funcionários temporários não podem fazer horas extras.
- O custo de cada peça acabada é de R\$ 5,00.
- Juros sobre o estoque de produto acabado: 1% ao mês
- Não considerar o custo de ocupação do espaço adicional nem custos com a eventual demissão de pessoal. Não considerar o custo do material em elaboração.
- Depreciação dos tornos: 10 anos.
- Programação da produção:
 - Janeiro a Agosto e Dezembro: 40.000 peças/mês
 - Setembro, Outubro e Novembro: 60.000 peças/mês

Observações:

- Deve-se pagar, no mínimo, as 8,0 horas/dia para cada pessoa alocada ao departamento.
- Cada célula deve ter pelo menos um funcionário permanente.

Pede-se:

- I) Determinar a alternativa mais econômica para atender à demanda destas peças sem fazer estoques. Demonstrar com números.
- II) A economia anual obtida através da alternativa proposta.
- III) A redução do custo unitário nesta alternativa.
- IV) Comentários sobre este exercício.

Resolução:

I) Alternativa mais econômica:

1º passo: obter capacidade de produção para a estação de demanda alta

O primeiro critério é a capacidade de produção: ter a quantidade mínima de máquinas necessárias para a demanda na estação alta, já que se quer trabalhar sem estoques:

Quantidade mínima: $60.000 / (20 \times 160) = 18.75$ máq. com 1 op./máq.

Portanto, para a estação alta são necessários, no mínimo, 19 tornos.

2º passo: obter a maior produtividade por homem na estação de demanda baixa

O segundo critério é a maior produtividade por homem hora (hh). A alternativa que proporciona a maior produtividade é utilizar células com 4 máquinas operadas por um único operador. Isto se justifica para os 9 meses de baixa demanda (40.000 pç/ mês). Verifica-se quantas máquinas seriam necessárias:

Capacidade de produção de uma máquina: $P = (12 \text{ pç/ h}) \times 160 \text{ h/ mês} = 1.920 \text{ pç/ mês por máq.}$

Quantidade de máq. = $(40.000 \text{ pç/ mês}) / (1.920 \text{ pç/h}) = 20,83$ máquinas (tornos).

Pode-se escolher entre 20 máq., que também atende ao primeiro critério, fazendo algumas horas extras, ou 21 máq.

É melhor escolher 20 máq. dispostas em 5 células de 4 máq. Neste caso é necessário trabalhar em algumas horas extras. Precisa-se verificar se as horas extras necessárias não ultrapassam os 5% permitidos:

Capacidade de produção de 20 máquinas:

No horário normal: $20 \times 160 \times 12 = 38.400 \text{ pç/ mês}$

Portanto, falta a produção de: $40.000 - 38.400 = 1.600 \text{ pç}$

Cálculo das horas extras (he):

Capacidade de produção horária da fábrica: $20 \times 12 = 240 \text{ pç/h}$

Horas extras necessárias: $1600/240 = 6,67$ horas de trabalho da fábrica fora do horário normal. Como se tem 5 pessoas trabalhando nestas máquinas, precisa-se:

$$5 \times 6,67 = 33,35 \text{ he}$$

Percentual de he: $6,67/160 = 0,042 = 4,2\%$, portanto permissível !

$$\text{Custo das he: } 33,35 \times \text{R\$ } 12,00 = \text{R\$ } 400,20$$

Portanto, para a estação baixa são necessários, no mínimo, 20 tornos

3º passo: Cálculo do investimento necessário:

Investimento necessário:

a) Aquisição de novos tornos: $(20 - 15) = 5$ máq.: $5 \times 40.000 = \text{R\$ } 200.000$

b) Automação: 20 máq.: $20 \times 3.000 = \text{R\$ } 60.000$

c) Implementação de coletores para CEP: é necessário para 20 máq.:
 $20 \times 2.000 = \text{R\$ } 40.000$

Investimento total: R\$ 300.000,00

4º passo: Cálculo do custo de produção atual (antes da modificação):

a) Custo do estoque:

Antes era necessário acumular um estoque para atender à demanda no pico, já que a produção máxima era de 45.000 pç./mês. Era necessário ter no início de cada ano um estoque de 5.000 pç

Tabela 3: Avaliação do custo do estoque.

Mês	Produção	Demanda	Estoque fim do mês	Custo do estoque* (1%)
	peças	peças	peças	R\$
Janeiro	45.000	40.000	10.000	375,00
Fevereiro	45.000	40.000	15.000	625,00
Março	45.000	40.000	20.000	875,00
Abril	45.000	40.000	25.000	1.125,00
Maio	45.000	40.000	30.000	1.375,00
Junho	45.000	40.000	35.000	1.625,00
Julho	45.000	40.000	40.000	1.875,00
Agosto	45.000	40.000	45.000	2.125,00
Setembro	45.000	60.000	30.000	1.375,00
Outubro	45.000	60.000	15.000	625,00
Novembro	45.000	60.000	0	0
Dezembro	45.000	40.000	5.000	125,00

TOTAL:

R\$ 12.125,00

*O estoque médio em janeiro é de 7.500 peças (5.000 no início do mês mais a média da produção no mês). Para os primeiros meses seguintes, o estoque médio aumenta 5.000 pç/ mês. O valor de cada peça: R\$ 5,00.

b) Custo da mão de obra direta (MOD) :

15 pessoas x 12 meses x 160 h/ mês R\$ 8,00/h = R\$ 230.400,00

c) Custo da manutenção e energia: 15 x 12 x 160 x 1,00 = R\$ 28.800,00

Custo total antes: R\$ 271.325,00 / ano

5 ° passo: Cálculo do custo de produção para a situação proposta:

a) Depreciação adicional (10% ao ano): 300.000 x 10% = R\$ 30.000,00

b) MOD:

Contratar operários permanentes apenas para as 5 células de quatro máquinas: 5 operários permanentes que trabalham 12 meses.

c.1) Operários permanentes: 5 x 160 x 12 x 8,00 = R\$ 76.800,00

Nos meses de pico (três meses) contrata-se operários temporários para aumentar a capacidade de produção (mais três operários para cada célula, com exceção de uma para a qual contratamos 2 pessoas).

Portanto deve-se contratar 3 x 4 + 2 x 1 = 14 operários temporários durante três meses, durante o ano (lembrar que a necessidade é de 19 máquinas durante o pico, operadas individualmente).

c.2) Operários temporários: 14 x 160 x 3 x 6,00 = R\$ 40.320,00

c.3) Horas extras (apenas operários permanentes): (R\$ 400,20/mês) x 9 meses = R\$ 3.601,80

c) Manutenção e energia:

Horas máquinas trabalhadas: $20 \times 160 \times 9 + 19 \times 160 \times 3 + 20 \times 6,67 \times 9$
 $= 39.120,6 \text{ h}$

Consideramos $39.121 \text{ h} \times \text{R\$ } 1,00/\text{h} = \text{R\$ } 39.121,00$

d) Custo dos estoques: custo nulo porque não há estoques

e) Custo total na alternativa proposta: $\text{R\$ } 195.842,80 / \text{ano}$

6° passo: Cálculo da redução de custo (situação proposta comparada com situação atual):

- **Redução de custo total:** $\text{R\$ } 271.325,00 - \text{R\$ } 189.842,80 =$

$\text{R\$ } 81.482,20 / \text{ano}$

- **Redução do custo unitário:** $\text{R\$ } 81.482,20 / 540.000 \text{ pç} = \text{R\$}$

$0,151 / \text{pç}$

O resumo dos custos envolvidos estão indicados na tabela a seguir:

Tabela 4: Resumo dos custos envolvidos na produção.

ITEM DE CUSTO	UNID.	ANTES	DEPOIS	REDUÇÃO
a) Custo dos Estoques	R\$	12.125,00	0	12.125,00
b.1) Custo da mão de obra permanente	R\$	230.400,00	76.800,00	153.600,00
b.2) Custo da mão de obra temporária	R\$	0	40.320,00	(40.320,00)
b.3) Custo das horas extras	R\$	0	3.601,00	(3.601,00)

c) Custo da manutenção e energia	R\$	28.800,00	39.121,00	(10.321,00)
CUSTO PARCIAL	R\$	271.325,00	159.842,00	111.483,00
d) Custo de depreciação adicional	R\$	0	30.000,00	(30.000,00)

CUSTO PARCIAL GLOBAL	R\$	271.325,00	189.842,80	81.482,20
Produção anual	Peças	540.000	540.000	
CUSTO PARCIAL UNITÁRIO	R\$/PEÇA	0,502	0,351	0,151
Investimento Total	R\$			300.000
Tempo de Retorno do Investimento*	anos			2,7 anos
Taxa Interna de Retorno*	%			35,4 %

* Taxa de juros: 0% aa ; Taxa do imposto de renda: 30%

(ver cálculos no item 8.2, p. 123);

IV) Comentários:

a) Esta é a alternativa mais lógica. Como a estação de demanda baixa estende-se por 9 meses, o critério para este período deve ser a **máxima produtividade do operário**. O custo da mão de obra, no caso, é bem superior ao custo de máquinas novas (1 operário permanente custa $160 \times 12 \times 8,00 = \text{R\$ } 15.360,00$ / ano , sendo que uma máquina autônoma custa apenas $45.000 \times (1\% \times 12 + 10\%) = \text{R\$ } 9.900,00$ / ano).

- b) É possível utilizar mão de obra temporária durante a estação de pico porque as máquinas são autônomicas e dispostas em células, sendo que cada célula tem um operador permanente. Este operador permanente orienta os outros três operários temporários, na célula, durante os meses de pico.
- c) Sem o Controle Estatístico de Processos não seria possível trabalhar sem estoques, de acordo com os conceitos de JIT, porque haveria muitas interrupções devido a problemas de qualidade. O CEP deve ser usado adequadamente para a prevenção de problemas de qualidade.

O sistema automático de coleta e processamento da dados para CEP permite a contratação de operários temporários, sem muita experiência, porque eles precisam apenas entrar com os dados. O computador faz a análise e, no caso de uma situação indesejável, a correção é efetuada pelo funcionário permanente, que tem treinamento profundo em CEP.

4.5.3 Resumo dos passos para avaliação econômica da viabilidade do investimento em automação com sistemas computadorizados para CEP em um sistema de produção

1º passo: obter capacidade de produção para a estação de demanda alta.

2º passo: obter a maior produtividade por homem na estação de demanda baixa.

3º passo: Cálculo do investimento necessário.

4º passo: Cálculo do custo de produção atual (antes da modificação).

5º passo: Cálculo do custo de produção para a situação proposta.

6º passo: Cálculo da redução de custo (situação proposta comparada com situação atual).

CAPITULO 5 . ESTUDOS DE CASO

Este capítulo tem por objetivo descrever alguns estudos de caso de empresas que implementaram sistemas computadorizados para coleta e processamento de dados para CEP.

5.1 Estudo de caso de fábrica de correntes

Este é o caso de uma empresa industrial multinacional americana, estabelecida na Cidade Industrial de Curitiba, onde o autor trabalhou durante 17 anos. Neste estudo de caso será analisado uma mudança no sistema de coleta de informações para CEP. A comparação será feita entre um sistema manual e um sistema automático de coleta de dados.

O produto desta empresa é a corrente de motosserra, produzida de aço liga. O processo é relativamente complexo e exige índices elevados de qualidade porque o aspecto segurança do produto é crítico.

Os principais componentes da motosserra são:

Elo de ação – elo de união – rebite – elo cortador

Descrição básica do processo (da peça mais complexa que é o elo cortador):

Estampagem – tratamento térmico – cromagem dura – afiação – montagem

Os elos são estampados a partir de fitas de aço e o rebite a partir de arame de aço.

Como estas peças componentes têm pequenas dimensões, são acondicionadas e transportadas em caixas padrão de 40 kg.

No início dos anos 80 a empresa, administrada pela matriz nos EUA, entendeu que para manter a competitividade, deveria buscar as modernas técnicas industriais aplicadas com sucesso no Japão, causando incrementos espantosos de qualidade e produtividade. Algumas delegações foram ao Japão para ver de perto o que estava se passando. Descobriu-se que a **produtividade** apoia-se em três pilares:

Sistema “Just in Time” (JIT)

Sistema TQC (Total Quality Control)

Envolvimento dos funcionários

Decidiu-se implementar inicialmente o sistema “Just in Time” com Kanban. Escolheu-se como linha piloto o componente rebite na fábrica dos EUA. Havia milhares de caixas com componentes em processo (WIP). A prática era manter sempre um mês de produção em WIP. A experiência com o rebite foi um sucesso e o JIT foi implementado para todas os componentes. Depois esta prática foi implementada também nas fábricas do Canadá e do Brasil. Milhares de caixas com componentes (WIP) foram eliminadas. Os principais benefícios obtidos foram:

a) Redução do capital empatado em WIP.

- b) *Redução da área ocupada.*
- c) *“Lead Times” menores.*
- d) *Eliminação da armazenagem de WIP.*
- e) *Redução do manuseio dos materiais.*
- f) *“Feedback” rápido no caso de problemas de qualidade.*
- g) *Exigência de um ambiente propício para a melhoria da qualidade.*
- h) *Aumento do nível de satisfação dos funcionários.*

Esta exigência da condição de um ambiente propício para a melhoria da qualidade parece inicialmente uma desvantagem, mas esta condição necessária para o bom funcionamento do JIT veio a mostrar-se uma alavanca poderosa para ganhos em qualidade.

Chegou-se à conclusão que a melhor ferramenta para melhorar e controlar a qualidade é o Controle Estatístico de Processos (CEP). Decidiu-se iniciar o processo, na fábrica dos EUA, com um treinamento generalizado da força de trabalho em CEP. Isto mostrou-se ineficaz porque apenas alguns operadores tiveram a oportunidade de aplicar o CEP, através de cartas de controle, imediatamente. Muitos ficaram frustrados porque o CEP foi apresentado como uma espécie de panacéia para os problemas de qualidade e, eles não podiam ajudar. No Brasil, tendo aprendido a lição dos EUA, os operadores foram treinados à medida da necessidade, ou seja, pouco antes da implantação do gráfico de controle nas suas respectivas operações.

Inicialmente foram colocados gráficos de controle manuais para características críticas e para características importantes (“major

characteristics”) apenas para tornar o processo “sob controle estatístico”. Durante o primeiro ano conseguiu-se colocar aproximadamente 80% dos processos sob controle. No segundo ano iniciou-se a avaliação da capacidade do processo, chamada nesta empresa de “capabilidade” através dos índices de capacidade Cp e Cpk.

A empresa analisada tinha um procedimento para o preenchimento manual dos gráficos de controle, cujo objetivo era: “Registrar de forma sistemática a coleta de dados e prover informações para a melhoria dos processos”. Os tipos de gráficos de controle utilizados eram:

\bar{X} / R – média e amplitude da amostra

\bar{X} / s – média e desvio padrão da amostra

X / R_m – valor individual e amplitude móvel

O coordenador de CEP era responsável pelos estudos estatísticos iniciais de cada processo, definição dos limites de controle, cálculo dos limites de capacidade e manutenção dos gráficos de controle.

Os operadores eram responsáveis pelo correto registro dos dados e informações nos gráficos de controle, que eram entregues a eles pelo coordenador de CEP, com os limites de controle traçados. Para o gráfico \bar{X} / R , que era o mais comum, os operadores tinham o seguinte procedimento:

- a) Coletar amostra aleatória de 5 elementos ($n=5$) na frequência indicada.
- b) Calcular a média aritmética (com calculadora de bolso)

- c) Calcular a amplitude
- d) “Plotar” a média no gráfico das médias e unir este ponto ao ponto anterior.
- e) “Plotar” a amplitude no gráfico das amplitude e unir este ponto ao ponto anterior.
- f) Analisar os gráficos. No caso de uma condição “fora de controle”, como ponto fora dos limites de controle, corrida ou tendência, o operador deveria parar o processamento para a determinação da “causa especial de variação”. Encontrando a causa especial, o operador registrava a ação corretiva no verso do gráfico de controle, chamado de “diário de bordo”. No caso em que o operador não encontrasse a causa especial ele deveria chamar o seu supervisor. O supervisor então tentava achar a causa especial, às vezes com a ajuda do engenheiro de manufatura. No caso em que o supervisor não conseguia descobrir a causa especial ele tinha a prerrogativa de autorizar ao operador a continuidade do processamento. Estava-se consciente que poderia estar ocorrendo um erro tipo α .

Pensava-se que tudo estava indo bem até que foram detectadas algumas peças defeituosas no produto na fase de montagem da corrente, em característica controlada no processo através de gráfico de controle. Questionou-se então a validade do gráfico de controle. Foi feita uma avaliação estatística e chegou-se à conclusão que o sistema implementado tinha a confiabilidade adequada. Esta avaliação estatística foi feita da seguinte forma:

quando se detectava, na montagem da corrente , peças componentes com algumas características fora das tolerâncias, simulava-se um gráfico de controle similar ao do processo em questão, com 25 amostras, coletadas do lote de peças produzidas. Detectando-se uma condição “fora de controle estatístico” concluía-se que o gráfico de controle do processo era adequado para detectar a condição indesejável.

Fez-se então uma auditoria dos operadores. Concluiu-se que alguns operadores estavam burlando o sistema nas seguintes formas:

- a) Alguns operadores, por falta de conhecimento estatístico, quando uma amostra apresentava uma condição “fora de controle”, descartava a mesma e repetia a amostragem até encontrar o valor “em controle”.
- b) Outros operadores, devido à pressão pelo volume de produção, quando encontravam, por exemplo, um valor fora de um limite de controle, enganosamente “plotavam” o valor dentro dos limites de controle.

Um outro problema encontrado na implantação do CEP na fábrica brasileira foi a reclamação de alguns operadores sobre o trabalho extra causado pelo preenchimento dos gráficos de controle. Eles alegavam que não tinham condições de atingir a meta do volume de produção por terem de preencher os referidos gráficos. Em alguns casos, os estudos do departamento de Engenharia comprovaram a dificuldade de o operador realizar todas as tarefas solicitadas pelo processo mais o preenchimento dos gráficos de controle. Em outros casos, os operadores estavam com má vontade de realizar

o serviço adicional de preenchimento dos gráficos porque queriam uma compensação financeira para isto. Eles estavam aderindo à famosa “Lei de Gérson” de “levar vantagem em tudo”.

Nos anos 90 a empresa estudada começou a usar o conceito de “operação simultânea de várias máquinas” por um operador. Para tornar isto possível as máquinas tinham de ser “autônomicas”, condição que já existia na maioria das máquinas desta empresa. Máquina autônômica é uma máquina que não precisa ser vigiada pelo operador enquanto trabalha, porque quando ocorre algum problema, a máquina pára e acende-se uma luz de advertência. Por isto basta o operador verificar qual a máquina que está parada para resolver o problema que causou esta parada.

Quando apareceram no mercado os coletores automáticos de dados para CEP, entendeu-se que seriam de grande utilidade para a fábrica brasileira. Viu-se as seguintes vantagens nestes sistemas:

- a) Aumento da produtividade de alguns processos onde faltava tempo para o operador preencher o gráfico de controle manual.
- b) Eliminação da manipulação de dados.
- c) Indicação imediata (em tempo real) de uma condição “fora de controle estatístico” .
- d) Eliminação de problemas com interpretações errôneas de condições “fora de controle estatístico”.
- e) Cálculo automático dos índices de capacidade C_p e C_{pk} .
- f) Eliminação de erros na transcrição dos dados para a folha da carta de controle.

- g) Eliminação de erros de cálculo.
- h) Eliminação de erros de plotagem no gráfico.
- i) Re-cálculo dos limites de controle e da média após cada conjunto de 25 amostras (cada folha do gráfico de controle).

O sistema escolhido foi um sistema básico DataMyte da Allen Bradley que foi instalado no departamento de prensas porque os operadores desta área operam cada um duas máquinas de produção e a carga de trabalho é muito grande. O sistema automático de coleta de dados trouxe condições para que os operadores controlassem várias características importantes através de gráficos de controle, em adição às tarefas do processamento. Sem o sistema automático de coleta de dados a produtividade teria sido muito menor porque, o preenchimento manual de gráficos de controle, permitiria a operação de apenas uma prensa por operador e não duas prensas por operador, como previsto.

A questão de operar mais de uma máquina através de um operador tem sua história na empresa Toyota no Japão (ver Cap. 4).

Um outro item que foi considerado na decisão de um sistema computadorizado para coleta de dados foi a eliminação das calculadoras necessárias para os operadores os cálculos necessários. As calculadoras disponíveis no mercado não eram apropriadas para o ambiente fabril e, portanto, a substituição era freqüente. Estas substituições envolviam o supervisor com um trabalho não produtivo.

Também pesou na decisão da escolha do software a possibilidade de se poder optar pelo gráfico \bar{X} / R ou pelo gráfico \bar{X} / s , utilizando-se os mesmos dados coletados.

5.2 Estudo de caso da Harley & Davidson (adaptado de Della, 2000)

Robert Della escreve no seu artigo na revista “Quality Magazine” de Jan. 2000 que a Harley & Davidson (H & D) conseguiu incrementar a performance do processo industrial e reduzir as não conformidades através da substituição do sistema de CEP em papel através de um sistema de software.

A implementação de um novo sistema de CEP , baseado em microcomputadores , que a H & D chama de SOC (Statistical Operator Control system), nas duas fábricas do trem motriz da motocicleta, Capitol Drive e Pilgrim Road, tem melhorado a performance dos processos e ajudado a reduzir não conformidades detectadas nas primeiras verificações da qualidade. Com a melhoria do nível do sistema de CEP, a partir de cartas de controle em papel mantidos pelos operadores, os engenheiros da H&D e fornecedores desenvolveram interfaces de máquinas de medição tridimensional (CMM) e outros instrumentos de medição em um sistema integrado de network. O sistema SOC reduz enormemente a possibilidade de erros de entrada de dados e de plotagem e proporciona ao operador uma indicação clara da situação do processo: amarelo significa fora de controle e vermelho significa fora de tolerância. Esta condição deixa aos operadores focar na interpretação dos

dados obtidos e na reação adequada. O resultado tem sido uma melhoria geral da capacidade dos processos.

SOC é o termo que a H&D usa para CEP. O termo foi desenvolvido para enfatizar o benefício de CEP para o operador do processo. SOC foi uma das principais ferramentas utilizadas pela empresa para melhorar significativamente a qualidade do produto, a posição no mercado e a saúde financeira durante os anos 80.

No passado, os operadores eram responsáveis em anotar as medições dimensionais, manualmente, em gráficos de controle tradicionais em papel. As 500 dimensões críticas, que são controladas, por exemplo, na fábrica Capitol Drive, incluem diâmetros de furos, localização de furos, planicidade, acabamento de superfície e várias outras características críticas. A implementação original de SOC envolveu o uso de estandes amarelos com os gráficos em papel, em cada posto de trabalho. Os operadores usavam lápis para marcar os pontos no gráfico, representando as medições feitas. Como os centros de usinagem realizam várias operações simultaneamente, a quantidade de gráficos aumentou rapidamente. O foco tem sido o monitoramento e controle das características chave do trem motriz. Estas características têm o maior impacto na satisfação geral dos clientes.

a) Achar o Software Adequado

O uso cada vez maior de medição eletrônica nas duas fábricas tornou viável sistemas computadorizados para SOC. O primeiro passo foi selecionar um software para CEP que pudesse ter interface com as CMM e outros

sistemas de medição e proporcionar informação de fácil interpretação aos grupos de trabalho, para identificar rapidamente problemas do processo. H & D já tinha uma relação comercial antiga com Powerway Inc. que oferece um pacote para CEP que converte instantaneamente dados brutos em resultados significativos gerando uma gama grande de tipos de gráficos de controle, incluindo \bar{X} / R , \bar{X} / s , histogramas e gráficos de Pareto. Este software também proporciona um resumo que inclui a capacidade de todos os processos para distribuições normais e não normais.

Em complementação, o software tem a forte característica de avaliar a eficácia de ações corretivas alternativas para a solução de problemas ao invés de simplesmente indicar que tipo de problemas estão ocorrendo. O fornecedor também oferece treinamento, serviços de integração e suporte técnico em geral.

b) Implementação do SOC ao nível dos grupos de trabalho

As duas fábricas da H&D citadas operam pela abordagem de trabalho em equipe. Cada célula de manufatura ou grupo de células é controlado por um grupo de trabalho que tem a responsabilidade e a autoridade de tomar decisões operacionais na sua área de ação. Sendo fiel a esta abordagem, a companhia adquiriu várias máquinas CMM para ambiente fabril e as entregou aos grupos de trabalho. A aquisição destas máquinas, instaladas nas áreas de trabalho, foi uma parte importante para dar aos diversos times o poder de abordar problemas de qualidade de forma pró-ativa.

O feedback rápido através do sistema de software, tem dado aos grupos de trabalho a informação necessária para uma ação imediata para corrigir um ponto fora de limite de controle. A informação da capacidade, através do Cpk, também é distribuída ao líder da qualidade do grupo para ser passada a todas as pessoas do grupo. Se o grupo não conseguir os alvos estabelecidos para o Cpk, ele envolve engenheiros de manufatura, a administração e outros. O objetivo da companhia é elevar o nível dos valores do Cpk ao longo do tempo. Os objetivos são estabelecidos ao nível do chão da fábrica. Isto é um detalhe importante porque os grupos sabem qual é a realidade e o potencial de melhoria dos processos que estão sob o controle deles. Os engenheiros de produto devem estabelecer o Cpk mínimo mas a melhoria contínua do mesmo deve ficar no nível operacional.

A interface mais importante foi estabelecida entre as máquinas CMM para dimensões críticas no chão da fábrica e o software de CEP. Um “driver” de software foi desenvolvido que é usado em conjunto com o sistema chamado “Integração da Qualidade” para extrair as medições das CMM de um arquivo texto e incluí-lo num “database”. O software de CEP então faz a atualização dos gráficos de controle para os diferentes grupos de trabalho. O operador recebe o resultado aproximadamente 60 segundos após a medição. Foram supridas também as interfaces com outros sistemas eletrônicos de medição como equipamentos para medição de engrenagens.

O treinamento foi uma parte importante do processo de implementação. Como política da companhia, cada funcionário H&D recebe treinamento em SOC. Esse treinamento cobre os tópicos fundamentais que são essenciais para

o trabalho com gráficos de controle. Para conduzir os funcionários ao nível mais elevado na utilização do sistema de SOC eletrônico, foi proporcionado um treinamento adicional. Foi utilizada uma abordagem de treinamento em duas etapas. Na primeira etapa os inspetores da H&D trabalharam com os operadores nas suas estações de trabalho, ajudando-os a utilizar as funções básicas do software, incluindo como ligar o sistema, entrar com dados e ver resultados. A segunda etapa era conduzida algumas semanas mais tarde quando a Powerway realizava um curso completo. Os tópicos incluíam a entrada de causas especiais e ações a tomar. Esta abordagem permitiu aos operadores irem à segunda série de aulas com um conhecimento básico aplicado à sua realidade de trabalho. O foco então podia ser na interpretação de resultados e ações a serem tomadas. As instruções de trabalho necessárias pela norma ISO e os benefícios dos gráficos de controle também eram revistos. Utilizando os serviços de treinamento do fornecedor do software para os operadores nos três turnos, facilitou sobremaneira o processo de implementação.

c) Ação preventiva

A H&D instalou mais de 60 micro computadores em locais estratégicos nas duas fábricas. Quase no mesmo tempo em que o operador realiza as medições, o computador efetua os cálculos e exibe na tela a performance do processo. Duplos cliques na tela de resumo permitem ao operador ver o gráfico de controle de seu interesse. A tela não exige uma interpretação extensiva. Se o processo produz peças fora de controle, mas ainda dentro da tolerância, a

característica se torna amarela. Se a peça sair fora da especificação, a característica se torna vermelha.

Esta sinalização colorida proporciona ao operador uma indicação imediata e, impossível de ignorar, se há um problema. Em muitos casos a causa do problema é aparente e facilmente corrigida pelo operador. A abordagem da fabricação é a reação aos limites de controle antes do processo produzir um produto que sai fora da tolerância, mas o sistema também ajuda a identificar e resolver problemas mais desafiadores.

Sempre que um processo sair do controle ou uma peça é produzida fora de especificação, aparece uma caixa de diálogo e o operador é sugerido a dar entrada uma causa especial. Se o operador não souber a causa do problema ele busca auxílio com o especialista do grupo de trabalho. Se uma assistência adicional for necessária, um engenheiro de manufatura é chamado para resolver o problema.

A informação coletada em cada estação de trabalho é usada por outros operadores e engenheiros para identificar e achar soluções para problemas crônicos.

Uma outra característica importante do software é a geração de relatórios de capacidade através do índice Cpk para a identificação de áreas de melhoria.

O resultado final é um processo de melhoria contínua que ao longo do tempo, ajudou aos operadores realizarem melhorias substanciais de qualidade. Após um ano da implantação do software de CEP nas operações do trem motriz, houve uma melhoria dos valores Cpk de uma forma geral. O resultado

líquido tem sido uma redução substancial das não conformidades no teste final. Isto tem resultado numa redução dos custos de sucata e re-trabalhos, que impactou positivamente os custos de manufatura. Ainda isto proporcionou os benefícios intangíveis de operar dentro de uma faixa de tolerância mais estreita.

5.3 Caso de Fabricante de Parafusos e Rebites (adaptado do Datamyte, 1995)

Este fabricante tinha um programa de CEP manual implantado para monitorar seu processo de manufatura. Os operadores de produção faziam as medições, anotavam os valores, calculavam as médias e amplitudes da cada sub-grupo e plotavam os pontos nos gráficos \bar{X} / R .

O problema era que os operadores não gostavam de coletar os dados manualmente e de gastar tempo com a plotagem dos pontos nos gráficos. A coleta de dados e os cálculos eram vistos como uma tarefa adicional ao invés de parte integrante da tarefa de manufatura. Isto porque cada operador trabalha com mais de uma máquina, não podendo dedicar muito tempo na monitoração da qualidade das peças. Os operadores estavam plotando os pontos calculados em gráficos de controle em papel, que se tornavam sujos e com manchas de óleo, rapidamente, devido ao manuseio freqüente. Devido a isto, os gráficos se tornavam difíceis de ler e, portanto, o arquivamento desta informação a longo prazo era inviável.

A solução foi encontrada através da aquisição de micrômetros e paquímetros com saídas digitais e um coletor automático de dados modelo Datamyte da Allen Bradley.

Os operadores ficaram muito satisfeitos porque agora têm mais tempo para a análise dos gráficos de controle bem como para as eventuais ações corretivas e de trabalhar nas outras máquinas de produção. Com isto conseguiu-se, no mínimo, as seguintes vantagens:

- operadores mais satisfeitos
- mais tempo para análise dos gráficos portanto, produtos com qualidade superior
- mais tempo para trabalhar em outras máquinas de produção, obtendo uma produtividade melhor

5.4 Caso de Fabricante de Fixadores Especiais para Automóveis (Adaptado de Quality Magazine, 2000)

Esta companhia acompanhou o seu processo através da utilização de gráficos de controle em papel. Esta foi a prática durante décadas. Mas, à medida que os negócios aumentaram, os clientes aumentaram a demanda para mais informação, a companhia achou a utilização dos gráficos em papel cada vez mais difícil. Estes registros da qualidade, porque eram manuscritos, às vezes eram mal escritos e difíceis de ler. Sobretudo, faltava a aparência

profissional, quando estes gráficos eram enviadas aos clientes. O arquivamento dos gráficos era feito manualmente, requerendo um espaço enorme, porque 100 máquinas com várias características por máquina eram controladas por gráficos de controle. Uma destas características era o diâmetro maior de uma peça. Através do controle deste diâmetro maior a companhia foi capaz de comparar as máquinas entre si e identificar as máquinas que necessitavam de consertos.

Os gráficos de controle em papel causavam dispêndio de tempo para a elaboração e manutenção que, freqüentemente, resultava em sacrifício de recursos para outras máquinas de produção. Isto causou uma diminuição na eficiência das máquinas.

Como os operadores utilizavam um pequeno grupo de amostras para o cálculo dos limites de controle, parte das duas caudas da curva normal era excluída. O resultado final era limites de controle mais apertados e mais pontos fora dos limites de controle sem necessidade (erro α). Isto tornava difícil a determinação se os pontos fora dos limites de controle eram resultados do acaso ou indícios de problemas, que é o objetivo do controle através do CEP. Ainda, os gráficos em papel tornavam muito difícil o isolamento dos dados de determinadas máquinas, peças ou características. Esta condição limitava o benefício obtido através do esforço de coletar os dados.

Foi adquirido um sistema automático para coleta e processamento de dados da Hertzler Systems Inc., que eliminou o tempo para a anotação dos dados, cálculos e plotagem.

Após o uso durante 12 meses o sistema foi considerado um ativo valioso. Gráficos históricos são facilmente recuperados de qualquer estação de trabalho, do servidor de arquivo. Com o recurso de ter os gráficos acessíveis diretamente das estações de trabalho, os engenheiros podem atender o cliente ao telefone, abrir na tela do computador as informações solicitadas e enviá-las ao cliente via e-mail, enquanto ao telefone. O tempo para a elaboração e análise dos gráficos de controle foi reduzido em 50% e os limites de controle são calculados instantaneamente, utilizando-se centenas de dados.

BENEFÍCIOS:

- O tempo para elaboração dos gráficos foi reduzido em 50%.
- Os limites de controle são calculados instantaneamente de centenas de dados, proporcionando uma redução no erro α .
- A informação qualitativa da produção é passada ao cliente quase em tempo real.
- O sistema permite comparar determinadas máquinas, operadores e características. Em um caso, o valor de Cpk de uma determinada característica estava abaixo de 1,33. Foi possível isolar o problema através dos valores menores e descobrir que havia erros de medição excessivos. Após algumas melhorias simples, o Cpk foi melhorado para 1,37.

5.5 Resumo das Vantagens do Sistema Computadorizado para CEP, citados nos Estudos de Caso:

Tabela 5: Resumo das vantagens do sistema computadorizado para CEP, citados nos estudos de caso.

EXEMPLOS DE VANTAGENS DO CEP COMPUTADORIZADO	ESTUDO DE CASO CITADO (ITEM)
A) Eliminação de erros	
A .1) Eliminação erros de leitura nos instrumentos de medição	5.1;
A .2) Eliminação de erros de anotação	5.1; 5.2;
A .3) Eliminação de erros de interpretação do gráfico	5.1; 5.2;
A .4) Eliminação de erros de cálculo (\bar{X} / R ou s)	5.1;
B) Eliminação da necessidade de uma calculadora	5.1;
C) Informações em tempo real para ação corretiva	5.1; 5.2;
D) Melhoria da comunicação entre operários do chão da fábrica com a administração	5.2;
E) Recebimento dos dados da produção, pelo cliente, em tempo real	5.4;
F) Fornecimento da informação estatística ao cliente com aspecto profissional	5.3; 5.4;
G) Diminuição do trabalho para o operador da máquina ou processo	5.1; 5.3; 5.4;
H) O sistema computadorizado não permite a manipulação de dados	5.1;
I) Pode-se substituir facilmente os gráficos \bar{X} / R por gráficos \bar{X} / s	5.1;
J) O computador causa um erro α menor	5.4;
K) Arquivamento fácil com ocupação de pouco espaço físico	5.2; 5.3; 5.4;
L) Permite um resumo da situação de todos os processos	5.2; 5.4;
M) Avalia a eficácia das ações corretivas	5.4;
N) Indicação clara da condição indesejável	5.2;
O) O computador verifica facilmente a normalidade da distribuição	5.2;

CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

6.1 – Contribuição do Trabalho Desenvolvido

A questão central que foi colocada no presente trabalho é a seguinte: “Justifica-se o investimento em sistemas computadorizados para coleta e processamento de dados para CEP?”

Tentou-se mostrar, no desenvolvimento do trabalho, que o Controle Estatístico de Processos (CEP) é uma ferramenta importante para a empresa industrial ser competitiva no cenário mundial porque assegura a qualidade do produto e reduz o custo de produção, pela prevenção de não conformidades.

Os sistemas automáticos para coleta e processamento de dados para CEP, por sua vez, podem facilitar o controle e melhoria dos processos através do CEP, com o mínimo de mão de obra. Por isto estes sistemas, além de melhorarem ainda mais a eficácia do CEP para a melhoria da qualidade do produto, são investimentos que podem ter um retorno direto pelo ganho em produtividade. Os estudos de caso apresentados no capítulo 5 mostram as vantagens econômicas decorrentes da implementação de sistemas computadorizados para CEP.

Por outro lado, os gráficos de controle especiais, em papel, como os gráficos de controle CUSUM e os gráficos de controle MULTIVARIÁVEIS, podem ser muito úteis em algumas situações especiais, dispensando sistemas automatizados.

A principal contribuição deste trabalho é dar subsídios aos gerentes e engenheiros de produção para avaliar a viabilidade da aquisição de sistemas computadorizados para coleta e processamento de dados para CEP e, em caso afirmativo, fazer a justificativa para o investimento nestes sistemas.

O trabalho contribui também com informações para a escolha das características importantes destes sistemas (ver item 3.2).

6.2 – Limitações do Trabalho e Dificuldades Encontradas.

Este trabalho limitou-se a estudar os aspectos econômicos relacionados com os sistemas automáticos para coleta e processamento de dados para CEP, sem entrar no aspecto subjetivo do ganho de competitividade da empresa pela melhoria da qualidade de seus produtos. O estudo abrangeu a utilização dos recursos da computação no Controle Estatístico de Processos para colocar os processos sob controle estatístico e para otimizar a localização da média da característica qualitativa considerada. No entanto, não foi estudada a redução das variâncias através do DOE (Design of Experiments) utilizando estes sistemas computadorizados.

A maior dificuldade encontrada foi conseguir material sobre o assunto. Uma ferramenta valiosa foi a internet onde foram encontrados vários sites com informações valiosas e atuais sobre o assunto (Exemplos: www.qualitymag.com; www.isixsigma.com;))

6.3 – Sugestões para Trabalhos Futuros

Um trabalho futuro pode ser o benefício da utilização do sistema computadorizado de coleta e processamento de dados para a redução das variâncias através do DOE.

7. FONTES BIBLIOGRÁFICAS:

- 1) BEAUREGARD, Michael R. et al., A Practical Guide to Statistical Quality Improvement – opening up the statistical toolbox, USA, Van Nostrand Reinhold, 1992
- 2) DATAMYTE HANDBOOK - Introduction to Statistical Quality Control., Allen Bradley Co. Inc., sixth edition, 1995.
- 3) DELLA, Robert – Harley rides high on SPC, Quality Magazine, 2000.
- 4) DIETRICH, Edgar – SPC or Statistics, Quality Magazine, August 2000.
- 5) BROCKA, Bruce, et al - Gerenciamento da Qualidade, Makron Books do Brasil, 1995
- 6) CAMPOS, Vicente Falconi – TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês) – Belo Horizonte, MG : Fundação Cristiano Ottoni, 1992
- 7) CERQUEIRA, Jorge Pedreira de - ISO 9000, no Ambiente da Qualidade Total – Rio de Janeiro: Imagem Ed., 1994.
- 8) FIOD NETO, Miguel - Taguchi e a Melhoria da Qualidade. Uma Releitura Crítica, 1997

- 9) FORD MOTOR COMPANY, Continuing Process Control and Process Capability Improvement, 1984.
- 10) GARVIN, David A. , Managing Quality – The Strategic and Competitive Edge – The Free Press, 1988
- 11) GRANT, Eugene L., Leavenworth, Richard S. – Statistical Quality Control. McGraw-Hill, 1988
- 12) OAKLAND, John S., Followel, Roy F., Statistical Process Control – Oxford, Billing & Sons Ltd, 1990
- 13) OHNO, Taiichi – Toyota Production System: Beyond Large Scale Production, Productivity Press Inc., 1988.
- 14) PANDE, Peter S., NEUMAN, Robert P., CAVANAGH, Roland R. – The Six Sigma Way, McGraw-Hill, 1998. Editado em português por Qualitymark Editora Ltda, 2001.
- 15) PYZDEK, Thomas – The Complete Guide to the CQE, Quality Publishing, 1996.
- 16) QUALITY MAGAZINE, Automated SPC Saves Time, May 2000.

- 17) SCHONBERGER - Richard J., Técnicas Industriais Japonesas: nove lições ocultas sobre simplicidade, São Paulo, Ed. Pioneira, 1984
- 18) SLIFKER, J.F. & Shapiro, S.S. – Selection and Parameter Estimation, Technometrics, 1980.
- 19) SUZAKI, Kiyoshi - The New Manufacturing Challenge – techniques for continuous improvement, New York, The Free Press, 1987

8. ANEXOS

8.1 Cálculo do Tempo do Retorno do Investimento e o Cálculo da Taxa Interna de Retorno do exemplo do Sistema Computadorizado para CEP (Tabela 2):

DADOS:

- Investimento Total: R\$ 37.000
- Taxa do imposto de renda: 30%
- Taxa de juros: 0%
- Período de depreciação: 5 anos
- Período total considerado: 10 anos

CÁLCULO DA ENTRADA DE CAIXA (R\$):

Ano	1	2	3	4	5
Redução de custo bruta	27.200	27.200	27.200	27.200	27.200
Depreciação	7.400	7.400	7.400	7.400	7.400
Redução de custo*	19.800	19.800	19.800	19.800	19.800
Imposto de renda (30%)	5.940	5.940	5.940	5.940	5.940
Redução de custo líquida	13.860	13.860	13.860	13.860	13.860
Depreciação	7.400	7.400	7.400	7.400	7.400
Entrada de caixa líquida	21.260	21.260	21.260	21.260	21.260

* antes do imposto de renda

Tempo de Retorno do Investimento: $t = \text{Investimento} / \text{Entrada de caixa líquida}$

$$t = 38.000 / 21.260 = 1,8 \text{ anos} = 1,8 * 12 = 21,6 \text{ meses.}$$

CÁLCULO DA TAXA INTERNA DE RETORNO:

ANO	ENTRADA R\$	PERÍODO ANOS	VALOR PRESENTE com TIR de 50,0% aa (R\$)
1	21.260	1,0	14.200
2	21.260	2,0	9.500
3	21.260	3,0	6.300
4	21.260	4,0	4.200
5	21.260	5,0	2.800
TOTAL			37.000

Observações: A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi calculada com calculadora financeira. O TIR é a maior taxa de juro que o investidor poderia pagar para financiar o investimento, com equilíbrio financeiro, sendo este financiamento reembolsado através da entrada de caixa líquida.

8.2 Cálculo do Tempo do Retorno do Investimento e o Cálculo da Taxa Interna de Retorno do exemplo de uma Instalação Industrial (Tabela 4):

DADOS:

- Investimento Total: R\$ 300.000
- Imposto de renda: 30 %
- Taxa de juros: 0%
- Período de depreciação: 10 anos
- Período total considerado: 10 anos

CÁLCULO DA ENTRADA DE CAIXA (R\$):

Ano	1	2	3	Todos 4 a 9	10
Redução de custo bruta	111.500	111.500	111.500	111.500	111.500
Depreciação	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Redução de custo*	81.500	81.500	81.500	81.500	81.500
Imposto de renda (30%)	24.500	24.500	24.500	24.500	24.500
Redução de custo líquida	57.000	57.000	57.000	57.000	57.000
Depreciação	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Entrada de caixa líquida	87.000	87.000	87.000	87.000	87.000

* antes do imposto de renda

Tempo de Retorno do Investimento: $t = \text{Investimento} / \text{Entrada de caixa líquida}$

$$t = 300.000 / 87.000 = 3,45 \text{ anos} = 3,45 * 12 = 41,4 \text{ meses.}$$

CÁLCULO DA TAXA INTERNA DE RETORNO:

ANO	ENTRADA R\$	PERÍODO ANOS	VALOR PRESENTE com TIR de 26,2% aa (R\$)
1	87.000	1,0	69.000
2	87.000	2,0	54.700
3	87.000	3,0	43.300
4	87.000	4,0	34.300
5	87.000	5,0	27.200
6	87.000	6,0	21.600
7	87.000	7,0	17.100
8	87.000	8,0	13.600
9	87.000	9,0	10.700
10	87.000	10,0	8.500
TOTAL			300.000

Observações: A Taxa Interna de Retorno (TIR) foi calculada com calculadora financeira. A TIR é a maior taxa de juro que o investidor poderia pagar para financiar o investimento, com equilíbrio financeiro, sendo este financiamento reembolsado através da entrada de caixa líquida.

7. FONTES BIBLIOGRÁFICAS:

- 1) BEAUREGARD, Michael R. et al., A Practical Guide to Statistical Quality Improvement – opening up the statistical toolbox, USA, Van Nostrand Reinhold, 1992
- 2) DATAMYTE HANDBOOK - Introduction to Statistical Quality Control., Allen Bradley Co. Inc., sixth edition, 1995.
- 3) DELLA, Robert – Harley rides high on SPC, Quality Magazine, 2000.
- 4) DIETRICH, Edgar – SPC or Statistics, Quality Magazine, August 2000.
- 5) BROCKA, Bruce, et al - Gerenciamento da Qualidade, Makron Books do Brasil, 1995
- 6) CAMPOS, Vicente Falconi – TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês) – Belo Horizonte, MG : Fundação Cristiano Ottoni, 1992
- 7) CERQUEIRA, Jorge Pedreira de - ISO 9000, no Ambiente da Qualidade Total – Rio de Janeiro: Imagem Ed., 1994.
- 8) FIOD NETO, Miguel - Taguchi e a Melhoria da Qualidade. Uma Releitura Crítica, 1997
- 9) FORD MOTOR COMPANY, Continuing Process Control and Process Capability Improvement, 1984.
- 10) GARVIN, David A. , Managing Quality – The Strategic and Competitive Edge – The Free Press, 1988
- 11) GRANT, Eugene L., Leavenworth, Richard S. – Statistical Quality Control. McGraw-Hill, 1988

- 12) OAKLAND, John S., Followel, Roy F., Statistical Process Control – Oxford, Billing & Sons Ltd, 1990
- 13) OHNO, Taiichi – Toyota Production System: Beyond Large Scale Production, Productivity Press Inc., 1988.
- 14) PANDE, Peter S., NEUMAN, Robert P., CAVANAGH, Roland R. – The Six Sigma Way, McGraw-Hill, 1998. Editado em português por Qualitymark Editora Ltda, 2001.
- 15) PYZDEK, Thomas – The Complete Guide to the CQE, Quality Publishing, 1996.
- 16) QUALITY MAGAZINE, Automated SPC Saves Time, May 2000.
- 17) SCHONBERGER - Richard J., Técnicas Industriais Japonesas: nove lições ocultas sobre simplicidade, São Paulo, Ed. Pioneira, 1984
- 18) SLIFKER, J.F. & Shapiro, S.S. – Selection and Parameter Estimation, Technometrics, 1980.
- 19) SUZAKI, Kiyoshi - The New Manufacturing Challenge – techniques for continuous improvement, New York, The Free Press, 1987