

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção

**Estudo de Capacidade de Processo em uma Indústria de
Refrigerantes**

Katia Aparecida Lauxen

TCC-EP-52-2006

Universidade Estadual de Maringá
Centro de Tecnologia
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção

**Estudo de Capacidade de Processo em uma Indústria de
Refrigerantes**

Katia Aparecida Lauxen

TCC-EP-52-2006

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de
Engenharia de Produção, do Centro de Tecnologia, da
Universidade Estadual de Maringá.
Orientador: Prof. Ms. Carlos Antonio Pizo

Maringá - Paraná
2006

Katia Aparecida Lauxen

**Estudo de Capacidade de Processo em uma Indústria de
Refrigerantes**

Este exemplar corresponde à redação final do Trabalho de Conclusão de Curso aprovado como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Universidade Estadual de Maringá, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Ms. Carlos Antonio Pizo
Departamento de Informática, CTC

Prof^ª. Maria de Lourdes Santiago Luz
Departamento de Informática, CTC

Maringá, novembro de 2006.

DEDICATÓRIA

A Deus, que sempre esteve tão presente, me iluminando e concedendo as forças necessárias para superar o desânimo e os obstáculos que surgiram.

Aos meus pais Romalino e Tereza, que são a base de toda a minha formação.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ms. Carlos Antonio Pizo, por sua Orientação e Supervisão ao longo do Curso de Graduação e em particular no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu querido Hugo, pelo carinho, apoio e contribuição ao trabalho.

A todos os Amigos e Colegas, que comigo tiveram a oportunidade de compartilhar este curso, em caráter especial, Alexandre Miyamoto, André Coelho, Anita Gesualdi e Elizangela Veloso, cujo apoio, estímulo e amizade, foram fundamentais, em momentos por vezes tão adversos e pelos alegres e bons momentos de convivência.

A todos os funcionários da empresa pela sua amizade e valiosa colaboração durante a realização deste trabalho.

Aos meus demais familiares, pelo incentivo e apoio para vencer mais esta etapa.

E a todos aqueles que, individualmente ou coletivamente não tendo sido aqui nomeados, permitiram de alguma forma a concretização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo a aplicação das ferramentas de controle estatístico de processo num determinado setor de uma indústria de refrigerantes. Através da explicação de seus conceitos e características, procurou-se oferecer uma melhoria nos níveis de qualidade deste setor, com o objetivo de servir como referência para estatística básica necessária para compreender e executar com sucesso um Estudo de Capacidade de Processo. Para a aplicação do modelo foi selecionada uma linha de engarrafamento que apesar de nova, estava apresentando baixo desempenho em termos de carbonatação. Num primeiro momento foram revisados os conceitos relacionados com controle de qualidade e controle estatístico de processo. Numa segunda fase foi sugerida uma rotina de trabalho passo-a-passo para a realização de um estudo de capacidade de processo. Os dados foram coletados levando em consideração a rotina proposta. Da análise dos dados coletados foram tomadas algumas ações que resultaram na melhoria do processo o que está tornando os produtos mais consistentes. O processo agora se situa dentro das especificações e está muito mais próximo do alvo.

Palavras-chave: CEP; Estudo de Capacidade; Carbonatação.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
LISTRA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTRA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS	xii
1 INTRODUÇÃO	01
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	01
1.2 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO.....	01
1.3 OBJETIVOS.....	02
1.3.1 Objetivo Geral.....	02
1.3.2 Objetivos Específicos.....	02
1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	02
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	03
2 CEP	04
2.1 CONCEITO DE QUALIDADE.....	04
2.2 CONCEITO DE CONTROLE DE QUALIDADE.....	07
2.3 CONCEITO DE PROCESSO.....	09
2.4 CONTROLE DE PROCESSO.....	11
2.4.1 Fase Plan.....	14
2.4.2 Fase Do.....	15
2.4.3 Fase Check.....	15
2.4.4 Fase Action.....	15
2.5 COLETA DE DADOS.....	16
2.5.1 Tipos de Dados.....	16
2.5.2 População e Amostra.....	16
2.5.3 Extratificação.....	16
2.5.4 Folha de Verificação.....	17
2.6 AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO.....	17
2.6.1 Fatores de Instrumentação que Influenciam no Desempenho dos Sistemas de Medição ..	17
2.6.1.1 <i>Exatidão de um instrumento</i>	17
2.6.1.2 <i>Precisão de um instrumento (repetibilidade)</i>	18
2.6.1.3 <i>Estabilidade de um instrumento</i>	19
2.6.1.4 <i>Linearidade de um instrumento</i>	20
2.6.2 Influência Humana no Desempenho dos Sistemas de Medição.....	21
2.6.2.1 <i>Reprodutibilidade</i>	21
2.7 CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO.....	21
2.8 GRÁFICO DE CONTROLE.....	22
2.8.1 Gráficos de Controle para Variáveis.....	24
2.8.1.1 <i>Gráfico \bar{x} e R</i>	24
2.8.1.2 <i>Gráfico \bar{x} e s</i>	26
2.8.1.3 <i>Gráfico de controle para medidas individuais (gráfico x e AM)</i>	27
2.8.2 Gráfico de Controle para Atributos.....	28
2.8.2.1 <i>Gráfico da proporção de itens defeituosos (gráfico p)</i>	28
2.8.2.2 <i>Gráfico do número total de defeitos (gráfico c)</i>	29

2.8.3	Limites de Controle e Limites de Especificação.....	30
2.9	INTERPRETAÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE	31
2.9.1	Pontos Fora dos Limites de Controle	31
2.9.2	Periodicidade.....	31
2.9.3	Seqüência.....	31
2.9.4	Tendência.....	32
2.9.5	Aproximação dos Limites de Controle	32
2.9.6	Aproximação da Linha Média.....	33
2.10	SUBGRUPOS RACIONAIS.....	33
2.11	CAPACIDADE DE PROCESSOS.....	34
2.11.1	Análise Gráfica da Capacidade de Processos.....	35
2.11.2	Índices de Capacidade.....	35
2.11.2.1	Índice de potencial do processo (C_p)	36
2.11.2.2	Índice de desempenho do processo	37
3	A ROTINA DE REALIZAÇÃO DE UM ESTUDO DE CAPACIDADE DE PROCESSO ...	39
3.1	PASSOS PARA O ESTUDO	39
3.1.1	Passo 1 – Identificação da programação da fábrica	39
3.1.2	Passo 2 – Cálculo do tempo	39
3.1.3	Passo 3 – Divisão do tempo de produção.....	39
3.1.4	Passo 4 – Determinação dos tempos	39
3.1.5	Passo 5 – Revisão da calibração	39
3.1.6	Passo 6 – Verificação dos termômetros	40
3.1.7	Passo 7 – Croqui dos painéis.....	40
3.1.8	Passo 8 – Desenvolvimento de planilhas	40
3.1.9	Passo 9 – Estudo de capacidade	41
3.1.10	Passo 10 – Coleta das amostras.....	42
3.1.11	Passo 11 – Igualar as temperaturas	42
3.1.12	Passo 12 – Orientação do laboratorista	42
3.1.13	Passo 13 – Iniciar a análise dos dados	42
3.2	UTILIZAÇÃO DE TABELAS DE NÚMEROS ALEATÓRIOS	43
4	APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	45
4.1	ESTUDO DE CAPACIDADE DE PROCESSO	45
4.2	CONCLUSÕES DA INVESTIGAÇÃO	52
5	CONCLUSÃO	53
	GLOSSÁRIO	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 2.1: CARACTERIZAÇÃO DE UM PROCESSO POR MEIO DO DIAGRAMA CAUSA E EFEITO	11
FIGURA 2.2: MÉTODO DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS "QC STORY".....	13
FIGURA 2.3: DETALHAMENTO DO CICLO PDCA NOS CICLOS DE MANUTENÇÃO E MELHORIA.....	14
FIGURA 2.4: EXATIDÃO DE UM INSTRUMENTO.....	18
FIGURA 2.5: REPETIBILIDADE DE UM EQUIPAMENTO.....	18
FIGURA 2.6: ESTABILIDADE DE UM EQUIPAMENTO.....	19
FIGURA 2.7: LINEARIDADE DE UM EQUIPAMENTO.....	20
FIGURA 2.8: REPRODUTIBILIDADE DE UM EQUIPAMENTO.....	21
FIGURA 2.9: EXEMPLO DE GRÁFICO DE CONTROLE.....	23
FIGURA 2.10: EXEMPLO DE 4 EM 5 PONTOS CONSECUTIVOS ALÉM DOS LIMITES 1-SIGMA.....	32
FIGURA 2.11: EXEMPLO DE 2 EM 3 PONTOS, ALÉM DAS LINHAS DE 2-SIGMA.....	33
FIGURA 3.1: CROQUI DOS PAINÉIS E MEDIDORES DOS EQUIPAMENTOS.....	40
FIGURA 3.2: PLANILHA PARA REGISTRO DOS RESULTADOS.....	41
FIGURA 3.3: INTERVALO MÉDIO PARA COLETA DAS AMOSTRAS.....	43
FIGURA 4.1: LINHA 3 - ENCHEDORA/TEMPO DE PRODUÇÃO = 5 HORAS.....	47
FIGURA 4.2: CAPACIDADE DE PROCESSO PARA REFRIGERANTE / BRUX DA BEBIDA.....	51
FIGURA 4.3: CAPACIDADE DE PROCESSO PARA REFRIGERANTE / CARBONATAÇÃO.....	51
FIGURA 4.4: CAPACIDADE DE PROCESSO PARA REFRIGERANTE / CARBONATAÇÃO DA BEBIDA.....	52
QUADRO 2.1: DEFINIÇÕES DA QUALIDADE.....	05
QUADRO 2.2: CATEGORIAS DE PROCESSO.....	30
QUADRO 2.3: ANÁLISE GRÁFICA DA CAPACIDADE DE UM PROCESSO.....	35
QUADRO 2.4: CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS A PARTIR DO ÍNDICE C_p	37

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: A INTERPRETAÇÃO DO ÍNDICE C_{pk}	38
TABELA 3.1: NÚMEROS ALEATÓRIOS	44
TABELA 4.1: INTERVALOS DE COLETA DAS AMOSTRAS	45
TABELA 4.2: MEDIDAS DE BRUX E CARBONATAÇÃO.....	46
TABELA 4.3: RESULTADOS DAS AMOSTRAS COLETADAS.....	48
TABELA 4.4: RESULTADOS DE CARBONATAÇÃO E BRUX.....	49
TABELA 4.5: MÉDIA E DESVIO-PADRÃO	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEO	<i>Chief Executive Officer</i>
CEP	<i>Controle Estatístico de Processo</i>
JUSE	<i>Union of Japanese Scientist and Engineers</i>
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Action</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

\pm	Mais ou Menos
μ	Média
σ	Desvio Padrão
\bar{x}	Média Amostral
$\bar{\bar{x}}$	Média da Média Amostral
\bar{R}	Média das Amplitudes
\overline{AM}	Amplitude Móvel

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Em todas as áreas de atividade industrial existe uma pressão constante por maiores índices de qualidade e, ao mesmo tempo, por custos de produção decrescentes. Os processos produtivos são caracterizados por padrões variáveis de comportamento que são denominados variabilidade. Essa variabilidade traz um componente de incerteza à capacidade das pessoas de tomar decisões. Por esse motivo, são necessárias ferramentas adequadas que permitam quantificar a variabilidade e, assim, reduzir o grau de incerteza com relação aos resultados dos processos de produção.

Uma empresa honesta só pode sobreviver dentro de uma sociedade se for para contribuir para a satisfação das necessidades das pessoas. Este é o seu objetivo principal (CAMPOS, 2004).

Na busca da redução do número de não conformidades em processos produtivos complexos uma ferramenta importante é a utilização do Controle Estatístico de Processo (CEP).

O Controle Estatístico de Processo visa diminuir a variabilidade nos processos produtivos através da busca de causas especiais eliminando-as, colaborando assim para a melhoria da qualidade.

A Estatística trata da coleta de dados informativos e da interpretação destes dados, facilitando o estabelecimento de conclusões confiáveis sobre algum fenômeno que esteja sendo estudado (WERKEMA, 1995).

1.2 Importância do Trabalho

Deve-se estar consciente, que um programa consistente de melhoria qualidade, por si só, não é suficiente. Ele deve envolver, amplo espectro de ações que vão desde pesquisas e ações técnicas, até a sensibilização da mão-de-obra e participação no processo de controle da mesma (TOLEDO *apud* SOARES, 2003).

O uso adequado das ferramentas do Controle Estatístico de Processo, junto às linhas produtivas de uma indústria de refrigerantes, constitui uma tentativa de evitar prejuízos. Pois sabendo utilizar essas ferramentas de forma coerente, poderá ser uma excelente arma

competitiva, sabendo que as empresas requerem mais informações e recursos para se enfrentar condições instáveis e inesperadas.

1.3 Objetivos

Os objetivos deste estudo podem ser divididos em geral e específicos, conforme detalhado a seguir.

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é usar as ferramentas do Controle Estatístico de Processo mostrando como ele é usado em uma indústria de refrigerantes, focando indústrias que estão buscando a implantação do Controle de Qualidade, propondo estratégias simples e técnicas estatísticas para quantificar a capacidade de um processo em atender as especificações de projeto.

1.3.2 Objetivos Específicos

Servir como referência para Custo da Qualidade e sua aplicação nos processos de fabricação.

Servir como referência para estatística básica necessária para compreender e executar com sucesso um Estudo de Capacidade de Processo.

Servir como guia passo-a-passo para a execução de um Estudo de Capacidade de Processo e para a compreensão correta de seus resultados.

O trabalho será desenvolvido com base em pesquisas bibliográficas e técnicas desenvolvidas em uma indústria de refrigerantes, tendo informações dos setores de Controle de Qualidade e Produção, analisando os gráficos e as tabelas construídas através dos seus próprios registros.

1.4 Limitações do Trabalho

As ferramentas da qualidade para atingir seus objetivos com eficiência devem se implementadas de forma estruturada e planejada. A condução de um estudo de capacidade de processo pode ser realizada com um maior ou menor participação do corpo técnico da empresa.

A princípio pensou-se em fazer uma abordagem geral sobre a aplicação das ferramentas de controle estatístico de processo, mas em seguida observou-se muitos pontos que poderiam ocorrer melhorias, escolhendo-se, portanto, um deles para realizar o estudo.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho proposto está estruturado em 5 capítulos, cujos conteúdos resumidos encontram-se a seguir:

- Capítulo 1 – Descreve o problema geral do trabalho, a importância, os objetivos e as limitações do mesmo. Este capítulo descreve ainda a estrutura geral do trabalho a ser desenvolvido.
- Capítulo 2 - Dedicar-se à apresentação dos conceitos de controle de qualidade e controle de processo, desde a sua aplicação até as vantagens e desvantagens. São também descritas, as técnicas estatísticas mais utilizadas para controle de processos.
- Capítulo 3 - Descreve de forma detalhada a metodologia proposta para um estudo de capacidade de processo e também são apresentadas todas os passos do modelo proposto.
- Capítulo 4 - Apresenta detalhadamente a aplicação prática do modelo proposto, desde a caracterização do local de estudo até os histogramas com os resultados do estudo.
- Capítulo 5 - Traz as conclusões sobre o trabalho realizado, sugestões para utilização ou melhoria do processo. Também apresenta algumas recomendações para futuras pesquisas.

2 CEP

2.1 Conceito de Qualidade

O século vinte é marcado pelo crescimento explosivo dos bens e serviços não só em volume como também em complexidade. Surgem grandes Indústrias, para produzir, vender e manter bens ao consumidor.

O Controle de Qualidade Total é um sistema administrativo aperfeiçoado no Japão, a partir de idéias americanas ali introduzidas logo após a Segunda Guerra Mundial. Este sistema é conhecido no Japão pela sigla TQC (“*Total Quality Control*”). Baseado na participação de todos os setores da empresa e de todos os empregados no estudo e condução do controle de qualidade (CAMPOS, 2004).

Segundo Campos (2004), Qualidade Total são todas aquelas dimensões que afetam a satisfação das necessidades das pessoas e, por conseguinte a sobrevivência da empresa. Algumas dessas definições são mostradas a seguir, e têm o seguinte significado:

- a) Qualidade – esta dimensão está diretamente ligada à satisfação do cliente interno ou externo. Portanto, a qualidade é medida por meio das características da qualidade dos produtos ou serviços finais ou intermediários da empresa. Ela inclui a qualidade do produto ou serviço (ausência de defeitos e presença de características que irão agradar o consumidor), a qualidade da rotina da empresa (previsibilidade e confiabilidade em todas as operações), a qualidade do treinamento, a qualidade da informação, a qualidade das pessoas, a qualidade da empresa, a qualidade da administração, a qualidade dos objetivos, a qualidade do sistema, a qualidade dos engenheiros, etc;
- b) Custo – o custo é aqui visto não só como custo final do produto ou serviço, mas inclui também os custos intermediários. Qual o custo médio de compras? Qual o custo de vendas? Qual o custo do recrutamento e seleção? O preço é também importante, pois ele deve refletir a qualidade. Cobra-se pelo valor agregado;
- c) Entrega – sob a dimensão da qualidade total são medidas as condições de entrega dos produtos ou serviços finais e intermediários de uma empresa: índices de

atrasos de entrega, índices de entrega em local errado e índices de entrega de quantidades erradas;

- d) Moral – esta é uma dimensão que mede o nível médio de satisfação de um grupo de pessoas. Este grupo de pessoas pode ser o grupo de todos os empregados da empresa ou os empregados de um departamento ou seção. Este nível médio de satisfação pode ser medido de várias maneiras, tais como o índice de *turn-over*, absenteísmo, índice de reclamações trabalhistas, etc;
- e) Segurança – sob esta dimensão avalia-se a segurança dos empregados e a segurança dos usuários do produto. Mede-se aqui a segurança dos empregados por meio de índices tais como número de acidentes, índice de gravidade, etc. A segurança dos usuários é ligada à responsabilidade civil pelo produto.

Não existe na literatura uma definição única, universal, para qualidade, os próprios “gurus” da qualidade apresentam diferentes definições. No Quadro 2.1 são apresentadas algumas delas:

Quadro 2.1 Definições de Qualidade

Autor	Definição
Juran, 2004	Qualidade significa adequação ao uso.
Campos, 2004	Um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, de forma acessível, de forma segura e no tempo certo às necessidades do cliente.
(Deming <i>apud</i> COSTA, 2004)	Qualidade significa atender e, se possível exceder as expectativas do consumidor.
(Crosby <i>apud</i> COSTA, 2004)	Qualidade significa atender as especificações.
Paladini, 2004	Qualidade envolve múltiplos elementos, com diferentes níveis de importância.

Em decorrência da expansão comercial, a tecnologia foi aumentando, e ferramentas e conceitos foram inventados para o gerenciamento da qualidade. Serão apresentadas a seguir várias ferramentas estatísticas que podem ser utilizadas para o conhecimento e análise da variabilidade presente nos processos produtivos. Segundo Werkema (1995), entre estas ferramentas, é importante destacar as chamadas “Sete Ferramentas da Qualidade”:

- **ESTRATIFICAÇÃO:** consiste no agrupamento da informação (dados) sob vários pontos de vista, de modo a focalizar a ação. Os fatores equipamentos, insumos, pessoas, métodos, medidas e condições ambientais são categorias naturais para a estratificação dos dados;
- **FOLHA DE VERIFICAÇÃO:** é um formulário no qual os itens a serem examinados já estão impressos, com o objetivo de facilitar a coleta e o registro dos dados;
- **GRÁFICO DE PARETO:** é um gráfico de barras verticais que dispõe a informação de forma a tornar evidente e visual a priorização de temas. A informação assim disposta também permite o estabelecimento de metas numéricas viáveis de serem alcançadas;
- **DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO:** é uma ferramenta utilizada para apresentar a relação existente entre um resultado de um processo (efeito) e os fatores (causas) do processo que, por razões técnicas, possam afetar o resultado considerado. Como a sua forma lembra o esqueleto de um peixe, o diagrama também é conhecido como Diagrama de Espinha de Peixe. Uma terceira denominação para este diagrama é Diagrama de Ishikawa, em homenagem ao Professor Kaoru Ishikawa, que construiu o primeiro diagrama de causa e efeito para explicar a alguns engenheiros de uma indústria japonesa como vários fatores de um processo estavam inter-relacionados;
- **HISTOGRAMA:** é um gráfico de barras no qual o eixo horizontal, subdividido em vários pequenos intervalos, apresenta os valores assumidos por uma variável de interesse. Para cada um destes intervalos é construída uma barra vertical, cuja área deve ser proporcional ao número de observações na amostra, cujos valores pertencem ao intervalo correspondente;
- **DIAGRAMA DE DISPERSÃO:** é uma ferramenta muito simples que permite a visualização do tipo de relacionamento, quais alterações devem esperar, em uma das variáveis, como consequência de alterações sofridas pela outra variável;
- **GRÁFICOS DE CONTROLE:** são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo. Um gráfico de controle permite a distinção entre os dois tipos de causas de variação, ou seja, ele nos informa se o processo está ou não sob controle estatístico.

2.2 Conceito de Controle de Qualidade

Werkema (1995), afirma que o Controle da Qualidade moderno teve seu início na década de 30, nos Estados Unidos, com a aplicação industrial do gráfico de controle inventado por Dr. Walter A. Shewhart. Ele propôs o uso do gráfico de controle para a análise de dados resultantes de inspeção, fazendo com que a importância dada à inspeção, um procedimento baseado na detecção e correção de produtos defeituosos, começasse a ser substituída por uma ênfase no estudo e prevenção dos problemas relacionados à qualidade, de modo a impedir que os produtos defeituosos fossem produzidos.

Para a autora, o grande catalisador para a aplicação do controle de qualidade em um maior número de indústrias americanas foi a Segunda Guerra Mundial. Sua utilização tornou possível a produção de suprimentos militares de boa qualidade em grande quantidade e mais baratos, e também permitiu que fossem atendidas as exigências das condições do período da guerra.

Do ponto de vista qualitativo, quantitativo e econômico, a produção americana foi muito satisfatória durante este período devido, em grande parte ao emprego do controle de qualidade e da Estatística moderna. Os procedimentos para o controle da qualidade naquela época foram publicados sob a forma de normas, conhecidas como “American War Standards Z1.1 – Z1.3”.

Ainda segundo Werkema (1995), na Inglaterra o controle de qualidade também foi adotado relativamente cedo. Em 1935, foram utilizados os trabalhos sobre controle de qualidade do estatístico E. S. Pearson, como base para a elaboração dos Padrões Normativos Britânicos (“British Standard BS 600”). Durante o período da guerra outras normas relacionadas ao controle de qualidade também foram formuladas e utilizadas na Inglaterra.

O Japão já conhecia os Padrões Normativos Britânicos BS 600 antes da Segunda Guerra Mundial, e alguns especialistas japoneses já haviam começado a estudar as técnicas estatísticas modernas, mas os resultados foram expressos de uma forma muito complexa, o que dificultou sua adoção. E também, o Japão enfrentava dificuldades com os métodos administrativos, e o controle da qualidade praticado no país era totalmente dependente da inspeção, a qual não era satisfatória, já que nem todos os produtos eram suficientemente inspecionados. Naquela época os produtos japoneses competiam em preço no mercado internacional, mas não em qualidade.

As forças americanas de ocupação, após a derrota do Japão na Segunda Guerra Mundial, chegaram ao país e descobriram que o sistema telefônico japonês apresentava um grande número de falhas, o que era um empecilho para o exercício da administração militar. Mas o problema da baixa confiabilidade do telefone japonês era resultado da baixa qualidade do equipamento e não uma consequência apenas da guerra. Diante deste quadro, os americanos determinaram, em maio de 1946, que a indústria de telecomunicações japonesa implantasse um programa eficiente de controle de qualidade, com o objetivo de eliminar os defeitos e a falta de uniformidade na qualidade dos equipamentos produzidos. As forças de ocupação começaram então a “educar” as indústrias do Japão diretamente a partir do método americano, o qual não foi modificado para se adaptar melhor à cultura japonesa. Isso gerou dificuldades, mas como foram obtidos resultados muito bons, o método americano passou a ser utilizado por empresas de outros setores da economia (WERKEMA, 1995).

Também em 1946 foi criada a JUSE (Union of Japanese Scientists and Engineers), uma organização constituída por engenheiros e pesquisadores. Em 1949, a JUSE formou o Grupo de Pesquisa do Controle da Qualidade, cujos membros trabalhavam em universidades, indústrias e órgãos governamentais. Este grupo tinha como objetivos pesquisar e disseminar os conhecimentos sobre controle da qualidade, para que as indústrias japonesas pudessem melhorar a qualidade de seus produtos e aumentar os níveis de exportação.

Em 1950, a JUSE convidou o estatístico William Edwards Deming, dos Estados Unidos, para proferir um seminário sobre o controle da qualidade para administradores e engenheiros, sendo abordados os tópicos sobre a utilização do Ciclo PDCA para melhoria da qualidade, a importância do entendimento da variabilidade presente em todos os processos de produção e de serviços e a utilização de gráficos de controle para o gerenciamento de processos.

Esse seminário contribuiu para que os administradores percebessem a importância do controle da qualidade para suas empresas.

Então, na década de 50, o controle de qualidade foi amplamente empregado no Japão, com um uso intensivo de técnicas estatísticas, como inspeção por amostragem e gráficos de controle. No entanto, naquele período o controle da qualidade japonês passou a enfrentar alguns problemas. Um deles foi a ênfase excessiva dada às técnicas estatísticas, que criou uma impressão de que o controle da qualidade era algo muito complicado e também o desinteresse

mostrado pelos presidentes e diretores de empresas, achando que o controle de qualidade era um movimento de engenheiros e operários (WERKEMA, 1995).

Em 1954, com o objetivo de resolver parte desses problemas, a JUSE convidou o engenheiro americano J. M. Juran para proferir seminários para a alta administração de várias empresas japonesas. Sendo explicado nesses seminários o desenvolvimento das atividades do controle de qualidade. A partir daí o controle de qualidade passou a ser entendido e utilizado como uma ferramenta administrativa, o que representou o início da transição do controle estatístico da qualidade para o controle da qualidade total, como é praticado atualmente, envolvendo a participação de todos os setores e de todos os empregados da empresa.

2.3 Conceito de Processo

Segundo Campos (2004), processo é um conjunto de causas (que provoca um ou mais efeitos), o controle de processo é a essência do gerenciamento em todos os níveis hierárquicos da empresa, desde o presidente até os operadores. O primeiro passo no entendimento do controle de processo, é a compreensão do relacionamento causa-efeito, esta compreensão irá criar as pré-condições para que cada empregado da empresa possa assumir suas próprias responsabilidades, criando as bases para o gerenciamento participativo.

Juran (2004), define que processo é uma série sistemática de ações dirigidas à realização de uma meta. Essa definição genérica cobre uma ampla variedade de processos:

- O processo global de gerência de um negócio. Esta é responsabilidade do Chief Executive Officer (CEO). Não existe um nome consensual para este processo;
- As amplas atividades funcionais executadas dentro de grandes funções como finanças ou assistência ao cliente. Chamados antes de processos funcionais. Quando são mapeados no organograma, eles assumem uma direção quase sempre vertical;
- Os amplos sistemas multifuncionais através dos quais são conduzidos os principais negócios da empresa. São exemplos, o processamento de pedidos dos clientes ou o faturamento. Chamados de macroprocessos. Quando mapeados no organograma, eles assumem uma posição horizontal;

- Os macroprocessos são compostos por operações departamentais (passos, tarefas, etc.), às vezes chamadas de subprocessos ou procedimentos. São exemplos, a abertura da correspondência ou a montagem de caixas de câmbio. Estes são chamados de microprocessos.

Ainda segundo Juran (2004), outras classificações de processos são baseadas nas metas em cuja direção eles estão voltados. Os processos dirigidos à produção de bens em fábricas são, normalmente, chamados de processos de fabricação. Os processos dirigidos à produção de serviços em escritórios são normalmente chamados de processos de escritório. Contudo a terminologia não está padronizada.

Segundo Werkema (1995), um processo pode ser definido, como um conjunto de causas que têm como objetivo produzir um determinado efeito, o qual é denominado produto do processo. Um processo pode ser dividido em uma família de causas: insumos, equipamentos, informação do processo ou medidas, condições ambientais, pessoas e métodos ou procedimentos. Um modelo generalizado de um processo pode ser visto na Figura 2.1

É fácil notar que processos se constituem em ações. As entradas são combinadas e colocadas em ação de tal maneira que produzam uma saída mensurável. Quantificar as entradas e saídas dos processos pode ser uma tarefa apreciável. Por isso é bom que se possa dispor de ferramentas adequadas que podem ajudar a nossa compreensão dos processos.

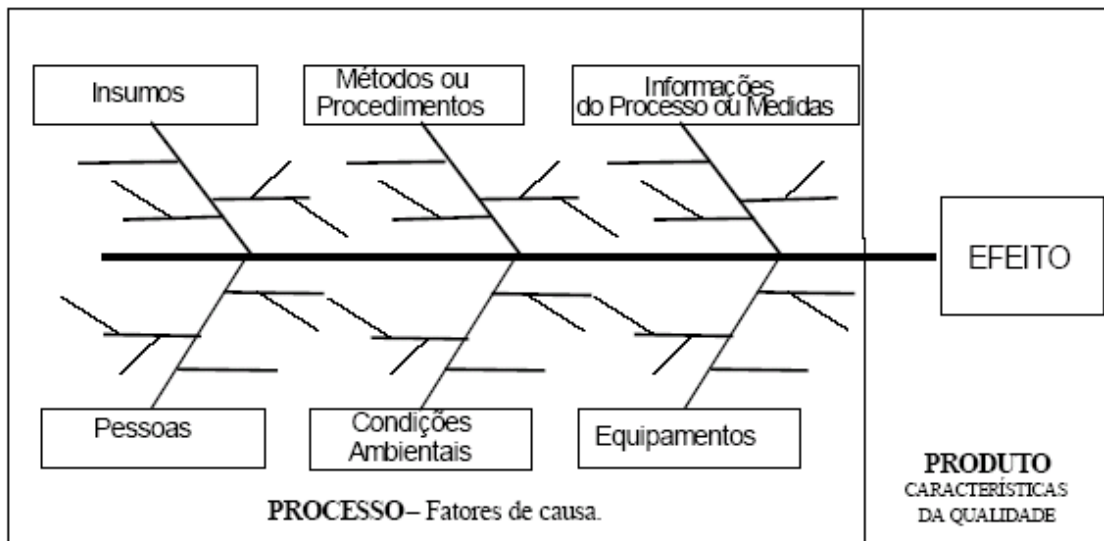


Figura 2.1: Caracterização de um Processo por Meio do Diagrama de Causa e Efeito.

Fonte: Werkema, M. C. C. (1995)

2.4 Controle de Processo

Para que seja possível controlar um processo, a primeira tarefa consiste na identificação de seus clientes, os quais deverão ter suas necessidades satisfeitas. Para a garantia da satisfação do cliente será preciso transformar estas características em grandezas mensuráveis, as quais são denominadas itens de controle, que são características mensuráveis, por meio das quais um processo é gerenciado. Os itens de controle de um processo são afetados por várias causas. As principais causas que afetam os itens de controle de processo que podem ser medidas e controladas, são denominadas itens de verificação (WERKEMA, 1995).

Segundo Campos (2004), manter sob controle é saber localizar o problema, analisar o processo, padronizar e estabelecer itens de controle de tal forma que o problema nunca mais ocorra. Observa-se que o controle de processo consta de três ações fundamentais:

- Estabelecimento da “diretriz de controle” (planejamento). Uma diretriz é estabelecida sobre os fins e meios de um processo e consta de:
 - ✓ A Meta, que é o nível de controle, ou seja, a faixa de valores desejada para o item de controle (fim).

- ✓ O Método, que são os procedimentos (meios) necessários para se atingir a Meta.
- Manutenção do nível de controle. Sempre que ocorrerem desvios deve-se:
 - ✓ Atuar no resultado para repor imediatamente o processo em funcionamento.
 - ✓ Atuar na causa para prevenir o reaparecimento do desvio.

Existem dois tipos de causas: Causas Assinaláveis – onde se descobre a causa por meio de uma análise de falhas, atua-se e registra-se num relatório, e as Causas Crônicas – neste caso é necessário conduzir “análise de processo”

- Alteração da diretriz de controle (Melhorias). Quando uma diretriz de controle é alterada deve-se:
 - ✓ Alterar a Meta, ou seja, alterar a faixa de valores proposta para o item de controle, alterar o nível de controle.
 - ✓ Alterar o Método, ou seja, alterar os procedimentos-padrão de tal forma que o novo nível de controle seja atingido.

A análise de processo é feita através do “QC STORY” que é um método de solução de problemas, sendo apresentado a seguir na Figura 2.2.

Segundo Campos (2004), o “controle de processo” é exercido por meio do Ciclo PDCA de controle de processos.

O Ciclo PDCA (*PLAN, DO, CHECK, ACTION*) é composto das quatro fases básicas do controle: planejar, executar, verificar e atuar corretivamente, seus termos tem o seguinte significado:

- Planejamento (P): consiste em estabelecer metas sobre os itens de controle e a maneira para atingir essas metas;
- Execução (D): execução das tarefas exatamente como prevista no plano e coleta de dados para verificação do processo. Nesta etapa é essencial o treinamento no trabalho decorrente da fase de planejamento;

- Verificação (C): a partir dos dados coletados na execução, compara-se o resultado alcançado com a meta planejada;
- Atuação Corretiva (A): está é a etapa onde o usuário detectou desvios e atuará no sentido de fazer correções definitivas, de tal modo que o problema nunca volte a ocorrer.

PDCA	FLUXO GRAMA	FASE	OBJETIVO
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância.
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com visão ampla e sob vários pontos de vista
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais
D	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais.
	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais.
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo.
	7	(Bloqueio foi efetivo?)	
A	8	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema.
	9	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para retrabalho futuro.

Figura 2.2: Método de Solução de Problemas – “QC STORY”.

Fonte: Campos V. F. (2004)

Ainda segundo Campos (2004), o ciclo PDCA de controle pode ser utilizado para manter e melhorar as “diretrizes de controle” de um processo.

O ciclo PDCA é utilizado para manutenção do nível de controle, quando o processo é repetitivo e o plano (P) consta de uma meta que é uma faixa aceitável de valores e de um método que compreende os “Procedimentos Padrão de Operação”.

O ciclo PDCA é também utilizado nas melhorias do nível de controle, neste caso, o processo não é repetitivo e o plano consta de uma meta que é um valor definido, e de um método, que compreende aqueles procedimentos próprios necessários para se atingir a meta. Esta meta é o novo “nível de controle” pretendido.

Na empresa todos utilizam o ciclo PDCA de melhoria e de manutenção, no entanto, os operadores utilizam o ciclo PDCA mais intensamente na Manutenção, pois seu trabalho é essencialmente o de cumprimento de padrões.

O caminho do sucesso para obter melhorias contínuas nos processo é o de conjugar os dois tipos de gerenciamento. Melhorar continuamente um processo significa melhorar continuamente seus padrões. Cada melhoria corresponde ao estabelecimento de um novo “nível de controle”, ou uma nova “diretriz de controle”.

Segundo Campos (2004), para que haja uma boa manutenção do nível de controle são necessárias as condições relacionadas a seguir para cada etapa do Ciclo. A Figura 2.3 possibilita uma melhor compreensão do texto.

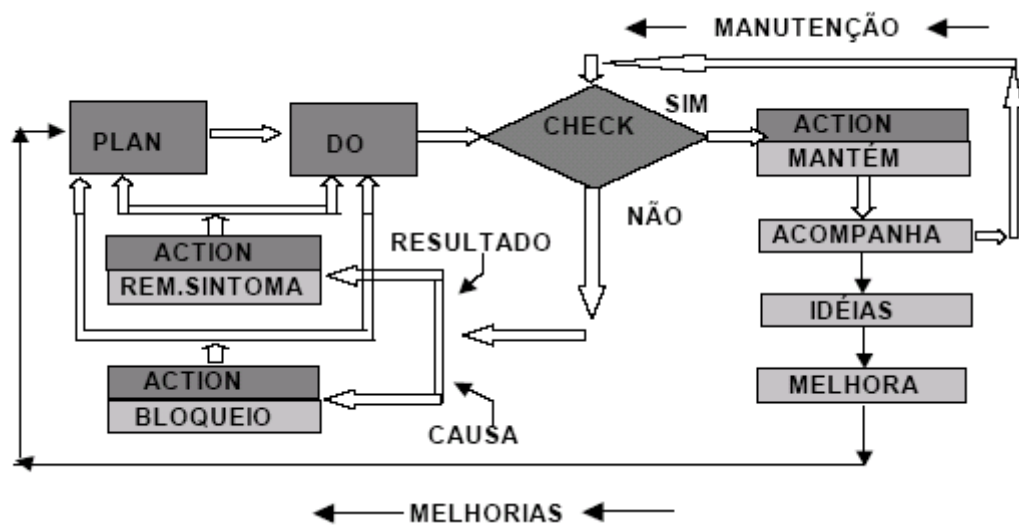


Figura 2.3: Detalhamento do ciclo PDCA nos ciclos de manutenção e melhorias

Fonte: Campos, V. F. (2004)

2.4.1 Fase Plan

Definição dos itens de controle a serem acompanhados e de sua faixa-padrão aceitável (nível de controle), e definição dos procedimentos-padrão necessários à manutenção dos resultados do processo.

Esta fase equivale ao estabelecimento da “diretriz de controle”. Aqui está o ponto fraco das empresas brasileiras. A grande maioria dos processos não possui “diretriz de controle”, ou seja, não possui itens de controle e procedimentos-padrão.

2.4.2 Fase *Do*

Treinamento no trabalho para os executantes, de tal forma que sejam os “melhores do mundo” naquilo que fazem. Este treinamento é baseado nos procedimentos-padrão; treinamento em coleta de dados; execução das tarefas conforme os procedimentos-padrão (isto deve ser periodicamente auditado).

Como é rara a existência da “diretriz de controle”, o treinamento no trabalho nas empresas é de péssima qualidade.

2.4.3 Fase *Check*

Os itens de controle devem ser verificados, o que pode ser feito das mais variadas formas.

Aqui se faz uma grande confusão no Brasil. Os participantes despreparados insistem em utilizar as famosas “cartas de controle”. No entanto, a maioria das pessoas sente dificuldades até em definir seus itens de controle. Precisa-se entender o conceito de controle, depois aprender o método de controle para depois estabelecer o controle de processos. Na grande maioria dos processos, um simples gráfico de controle é o bastante para orientar a estabilização do processo. As cartas de controle possuem um charme todo especial, mas são pentes finos, é um instrumento a ser utilizado para monitorar processos sob controle e estáveis.

2.4.4 Fase *Action*

Caso tudo esteja normal, manter os procedimentos atuais para que os resultados possam ser mantidos em uma faixa padrão; caso ocorra uma anomalia, a chefia deve ser avisada imediatamente para as ações corretivas necessárias, a não ser que as ações corretivas cabíveis já estejam padronizadas. Toda anomalia deve ser registrada para futura análise.

Todas a pessoas da empresa, do presidente aos operadores, cumprem padrões e portando utilizam o PDCA no “ciclo de manutenção”. No entanto, os operadores são aqueles que ocupam a grande parte do seu tempo cumprindo padrões e, portanto, para isto devem ser preparados.

2.5 Coleta de Dados

Os dados representam a base para a tomada de decisões confiáveis durante a análise de qualquer problema. Como todo procedimento de obtenção de dados deve ser seguido por algum tipo de ação, é importante ter bem claros quais são os objetivos da coleta de dados, já que estes objetivos indicarão as características que os dados deverão apresentar. Os processos de uma empresa podem gerar uma grande quantidade de dados, da qual apenas uma pequena parcela será realmente útil. É então importante tomar cuidado para evitar coletar dados sem que se tenha objetivos definidos, já que neste caso a coleta de dados poderá ser cara, desnecessária e frustrante (WERKEMA, 1995).

2.5.1 Tipos de dados

Segundo Werkema (1995), Dados Discretos são aqueles resultantes quando o número de ocorrências de uma característica particular de interesse é contado, em outras palavras, as medidas consistem em contar o número de itens do produto que apresentam o atributo de interesse, ou em contar o número de ocorrências da característica de interesse em cada item do produto e Dados Contínuos, são aqueles medidos em uma escala contínua.

2.5.2 População e amostra

População é a totalidade dos elementos de um universo sobre o qual desejamos estabelecer conclusões ou exercer ações. Já um subconjunto de itens extraídos de uma população, por meio do qual pretendemos obter informações sobre esta população, é denominada de amostra.

2.5.3 Estratificação

As principais causas de variação que atuam nos processos produtivos constituem possíveis fatores de estratificação de um conjunto de dados. A estratificação consiste no agrupamento da informação (dados) sob vários pontos de vista, de modo a focalizar a ação.

Ainda segundo Werkema (1995), a estratificação é uma ferramenta muito efetiva nas etapas de observação, análise, execução, verificação e padronização do Ciclo PDCA para melhorar e nas etapas de execução e ação corretiva PDCA para manter.

2.5.4 Folha de Verificação

A folha de verificação é um formulário no qual os itens a serem examinados já estão impressos, com o objetivo de facilitar a coleta e o registro dos dados. O tipo da folha de verificação a ser utilizado depende do objetivo da coleta de dados. Normalmente a folha de verificação é construída após a definição das categorias para estratificação dos dados.

2.6 Avaliação dos Sistemas de Medição

Existem dois tipos básicos de fatores que influenciam a qualidade de um sistema de medição, que são os fatores do instrumento e os fatores humanos. Qualquer um deles pode arruinar um sistema de medição e invalidar seus resultados.

2.6.1 Fatores de instrumentação que influenciam no desempenho dos sistemas de medição

2.6.1.1 Exatidão de um instrumento

A exatidão é definida matematicamente como:

$$\text{Exatidão} = X - \text{ALVO} \quad (2.1)$$

Quando se conhece o valor verdadeiro de uma amostra que se quer medir, pode-se avaliar a Exatidão do instrumento fazendo as substituições observadas em (2.2):

$$\text{Exatidão do Instrumento} = X - \text{Valor Verdadeiro} \quad (2.2)$$

Onde:

X = Média observada das medidas feitas por um instrumento para a mesma amostra.

Valor Verdadeiro = Um valor conhecido, calculado, ou determinado usando o melhor equipamento de medida disponível.

Idealmente, o valor da exatidão, calculado usando a Fórmula (2.2), deve ser zero. Na Figura 2.4 pode-se observar a representação gráfica da exatidão de um instrumento.

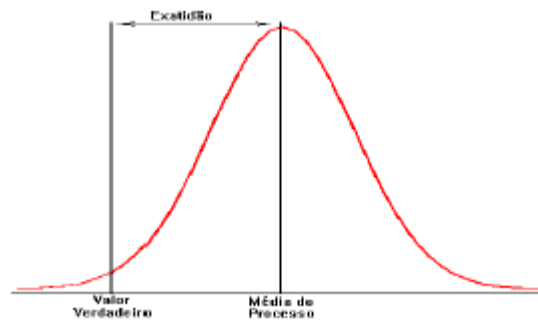


Figura 2.4: Exatidão de um Instrumento

Fonte: Tecnoíso Instrumentação e Calibração

Instrumentos calibrados impropriamente resultam em exatidão pobre.

2.6.1.2 Precisão de um instrumento (repetibilidade)

Precisão de um instrumento é a repetibilidade obtida quando um operador usa o mesmo instrumento para repetidamente medir a mesma amostra, usando o mesmo método. Na Figura 2.5 pode-se observar a representação gráfica da precisão de um instrumento.

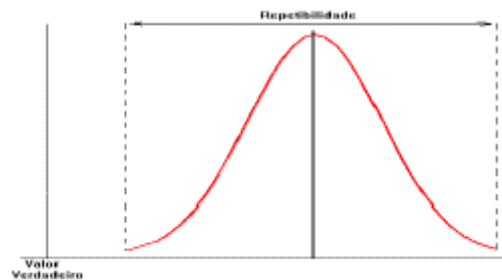


Figura 2.5: Repetibilidade de um Equipamento

Fonte: Tecnoíso Instrumentação e Calibração

2.6.1.3 Estabilidade de um instrumento

A Estabilidade de um instrumento é a condição que permite que medidas repetidas feitas em tempos diferentes, na mesma amostra, pelo mesmo técnico, usando o mesmo método resulta na mesma resposta média. O instrumento representado na Figura 2.6 não é estável. A média do processo muda do Tempo 1 para o Tempo 2.

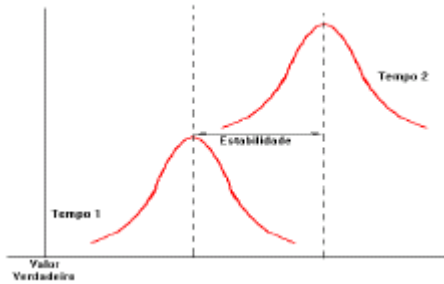


Figura 2.6: Estabilidade de um Equipamento

Fonte: Tecnoíso Instrumentação e Calibração

$$\text{Estabilidade} = X_{\text{tempo1}} - X_{\text{tempo2}} \quad (2.3)$$

Onde:

- X_{tempo1} = Média das medidas repetidas de uma mesma amostra, realizada pelo mesmo técnico, usando o mesmo método, no tempo1.
- X_{tempo2} = Média das medidas repetidas da mesma amostra usada para determinar X_{tempo1} , realizadas pelo mesmo técnico, usando exatamente o mesmo método, no tempo 2.

A falta de estabilidade pode ser atribuída a condições tais como:

1. Deterioração de componentes de instrumentos, como por exemplo, fonte de luz em um espectrofotômetro;
2. Falta de limpeza apropriada do instrumento, como, por exemplo, deixar o banho de água sujo no densímetro;

3. Fornecimento de energia instável em prédios de laboratório sem proteção contra variação de voltagem.

2.6.1.4 Linearidade de um instrumento

A linearidade de um instrumento é a condição na qual medidas repetidas feitas em diferentes extremidades da faixa esperada de operação, pelo mesmo técnico usando o mesmo método resultam na mesma exatidão. Na figura 2.7 é apresentado um instrumento não linear, pois é mais exato em altas concentrações da amostra que está sendo medida.

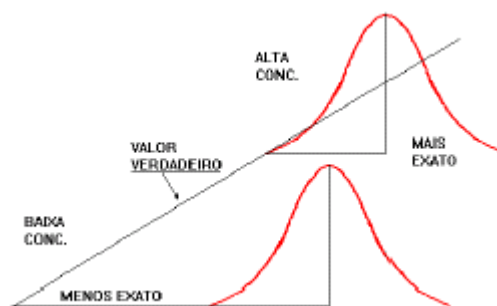


Figura 2.7: Linearidade de um Equipamento

Fonte: Tecnoíso Instrumentação e Calibração

$$\text{Linearidade do Instrumento} = \text{Exatidão}_{\text{inf.}} - \text{Exatidão}_{\text{sup}} \quad (2.4)$$

Onde:

$\text{Exatidão}_{\text{inf.}} = X - \text{Valor Verdadeiro}$ na extremidade inferior da faixa de operação.

$\text{Exatidão}_{\text{sup}} = X - \text{Valor Verdadeiro}$ na extremidade superior da faixa de operação.

Idealmente, a linearidade calculada para o instrumento deve ser zero. A falta de linearidade do instrumento pode ser atribuída a condições tais como:

- Calibração imprópria em uma extremidade particular de uma faixa de operação;
- Falha interna de Componentes.

2.6.2 Influência humana no desempenho de sistemas de medição

2.6.2.1 Reprodutibilidade

Reprodutibilidade é a variação em médias de medidas feitas por diferentes operadores medindo a mesma amostra no mesmo instrumento usando o mesmo método. Na Figura 2.8 o desempenho do instrumento é não reprodutível de operador para operador. Desempenho não-reprodutível é mais freqüentemente atribuído a falta de treinamento apropriado e/ou técnica.

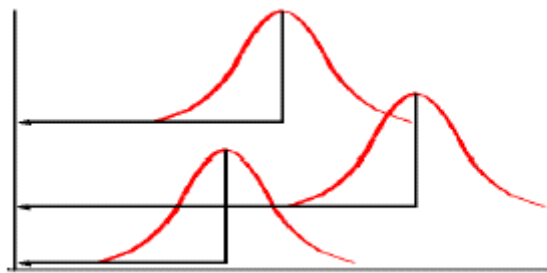


Figura 2.8: Reprodutibilidade de um Equipamento

Fonte: Tecnoíso Instrumentação e Calibração

2.7 Controle Estatístico de Processo

Para que o processo seja previsível, é necessário que ele esteja sob controle (WERKEMA, 1995).

O Controle Estatístico de Processo (CEP), procura detectar a existência de erros, falhas e desperdícios, e corrigi-los (PALADINI, 1997). Observa o defeito na fonte, as suas causas, e atua de forma preventiva, combatendo o desperdício antes de sua ocorrência. Fixa a sua atenção e age no processo, e não em caso exclusivo, evitando defeito independente de onde ocorra, utilizando a Estatística como instrumento básico para organizar, fazer um tratamento e análise das informações do processo, permitindo assim a avaliação da qualidade. O CEP é um conjunto de técnicas, onde a experimentação prática tem aprovado, e recomendado para casos variados.

Assim pode-se pensar no CEP como uma metodologia experimental e prática, com a finalidade de verificar-se os seguintes aspectos:

- Conhecimento do processo;
- Fidelidade dos dados coletados representados pelos gráficos de controle;
- Estabelecimento de critérios para verificar qual é o comportamento das mudanças de condições calculadas pelo CEP, ou seja, verificar se as alterações são causadas por variações inerentes ao sistema e se serão estáveis através do tempo ou se ocorrem ocasionalmente.

2.8 Gráfico de Controle

Todos os processos apresentam variabilidade, quando um produto é fabricado. As características deste produto irão apresentar uma variação inevitável, devido a variações sofridas pelos fatores que compõem o processo produtivo. Estas variações podem resultar de diferenças entre máquinas, mudanças nas condições ambientais, variações entre lotes de matérias-primas, diferenças entre fornecedores, entre outras. Apesar de um esforço considerável ser especificamente direcionado para controlar a variabilidade em cada um desses fatores, existirá sempre a variabilidade no produto acabado de cada processo (WERKEMA, 1995).

A função do CEP é o monitoramento do processo produtivo, a partir da coleta de dados. Esses dados são analisados estatisticamente, com o auxílio de ferramentas, e observa-se o comportamento do processo. Identificados eventuais afastamentos do comportamento naturais do processo buscam-se informações e parte-se para a ação sobre o processo, seja sobre causas comuns ou especiais.

A variação provocada pela variabilidade natural do processo (causas comuns), é inerente ao processo considerado e estará presente mesmo que todas as operações sejam executadas empregando métodos padronizados. Se apenas causas comuns estão atuando no processo, a variabilidade se mantém estável, conhecida como faixa característica do processo. Neste caso, dizemos que o processo está sob controle estatístico, apresentando um comportamento estável e previsível.

Ainda segundo Werkema (1995), as causas especiais de variação surgem esporadicamente, devido a uma situação particular que faz com que o processo se comporte de um modo completamente diferente do usual. Se o processo está operando sob a situação de causas especiais de variação dizemos que ele está fora de controle estatístico. As causas especiais de

variação devem ser localizadas e eliminadas e também devem ser adotadas medidas para evitar sua reincidência.

Os gráficos de controle são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo. Ele não descobre quais são as causas especiais de variação que estão atuando em um processo fora de controle estatístico, mas processa e dispõe informações que podem ser utilizadas na identificação destas causas.

Um gráfico de controle consiste de:

- Uma linha média (LM);
- Um par de limites de controle, representados um abaixo (limite inferior de controle – LIC) e outro acima (limite superior de controle – LSC) da linha média;
- Valores da característica da qualidade traçados no gráfico.

A Figura 2.9 mostra um gráfico de controle típico com pontos fora dos limites de controle.

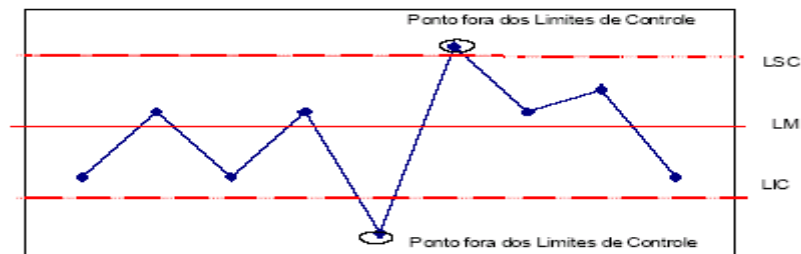


Figura 2.9: Exemplo de gráfico de controle

Fonte: SOARES, Valentina de L. M. de P (2003)

2.8.1 Gráficos de controle para variáveis

Os gráficos de controle para variáveis são usados quando a característica da qualidade é expressa por um número em uma escala contínua de medidas. Alguns exemplos são os gráficos de controle para o rendimento de uma reação química, a espessura de uma peça e o tempo de entrega de um produto ao cliente (WERKEMA, 1995).

Dentre os Gráficos de Controle para variáveis, existem os seguintes:

- Gráficos da média \bar{x} ;

- Gráfico da amplitude \bar{R} ;
- Gráfico do desvio padrão s ;
- Gráfico de medidas individuais x .

2.8.1.1 Gráficos \bar{x} e R

Segundo Werkema (1995), quando a característica da qualidade de interesse é expressa por um número em uma escala contínua de medidas, dois dos gráficos de controle mais utilizados são: o gráfico da média \bar{x} e o gráfico da amplitude R. O gráfico \bar{x} é utilizado com o objetivo de controlar a média do processo, enquanto o gráfico R é empregado para o controle da variabilidade do processo considerado. Os dois gráficos devem ser empregados simultaneamente.

Suponha que a característica da qualidade de interesse (χ) tenha distribuição normal com média μ e desvio padrão σ , ou seja, de forma abreviada:

$$X \sim N(\mu, \sigma) \quad (2.5)$$

Se $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_n$ é uma amostra de tamanho n desta distribuição, já sabemos que a média amostral $\bar{x} = (\chi_1 + \chi_2 + \dots + \chi_n) / n$ tem distribuição normal com média μ e desvio padrão $\sigma_{\bar{x}} = \sigma / \sqrt{n}$, ou seja,

$$\bar{x} \sim N(\mu, \sigma / \sqrt{n}) = N(\mu, \sigma_{\bar{x}}) \quad (2.6)$$

De acordo com as propriedades da distribuição normal, também sabemos que há uma probabilidade igual a $1 - \alpha$ de que a média amostral \bar{x} esteja entre:

$$\mu + z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.7)$$

$$\mu - z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.8)$$

Se μ e σ forem conhecidos, as equações (2.7) e (2.8) poderão ser utilizadas como limites superior e inferior de controle, respectivamente, de um gráfico de controle para a média.

Na prática, os parâmetros μ e σ são desconhecidos e deverão ser estimados a partir de dados amostrais. O procedimento para a estimação de μ e σ consiste em coletar m amostras, cada uma contendo n observações. Geralmente, $m = 20$ ou 25 , ao menos, e $n = 4, 5$, ou 6 . Coletando as amostras em intervalos sucessivos, e registrando as observações na ordem em que foram obtidas.

Calcular a média global $\bar{\bar{x}}$:

$$\bar{\bar{x}} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \dots + \bar{x}_m}{m} \quad (2.9)$$

Calcular a média \bar{x}_i de cada amostra:

$$\bar{x}_i = \frac{x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in}}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.10)$$

Calcular a amplitude média \bar{R} :

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m} \quad (2.11)$$

Calcular o desvio padrão:

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.12)$$

Calcular os limites de controle:

- Gráfico \bar{x} :

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{x}} + A_2 \bar{R} \\ LM &= \bar{\bar{x}} \\ LSC &= \bar{\bar{x}} - A_2 \bar{R} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Onde $A_2 = 3/d_2\sqrt{n}$ é uma constante tabelada em função do tamanho n das amostras (encontrada no Apêndice VI, do livro Montgomery, 2004).

- Gráfico \bar{R} :

$$\begin{aligned} LSC &= D_4 \bar{R} \\ LM &= \bar{R} \\ LSC &= D_3 \bar{R} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Onde $D_3 = 1 - 3d_3/d_2$ e $D_4 = 1 + 3d_3/d_2$ são constantes tabeladas em função do tamanho n das amostras (encontrada no Apêndice VI, do livro Montgomery, 2004).

2.8.1.2 Gráficos \bar{x} e s

Os gráficos de controle \bar{x} e s são geralmente preferíveis em relação aos gráficos \bar{x} e R quando $n > 10$ ou 12 , já que para amostras maiores a amplitude amostral R perde eficiência para estimar σ , quando comparada ao desvio padrão amostral s .

Os cálculos da média (\bar{x}) e da média global ($\bar{\bar{x}}$) são obtidos conforme item 2.8.1.1.

Calcular o desvio padrão s_i de cada amostra:

$$s_i = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (2.15)$$

Calcular o desvio padrão médio \bar{s}_i :

$$\bar{s} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_m}{m} \quad (2.16)$$

Calcular os limites de controle:

- Gráfico \bar{x} :

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s} \\ LM &= \bar{\bar{x}} \\ LIC &= \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s} \end{aligned} \quad (2.17)$$

- Gráfico s :

$$\begin{aligned} LSC &= B_4 \bar{s} \\ LM &= \bar{s} \\ LIC &= B_3 \bar{s} \end{aligned} \quad (2.18)$$

A_3 , B_4 e B_3 são constantes apresentadas em função de n (encontrada no Apêndice VI Montgomery, 2004).

2.8.1.3 Gráficos de controle para medidas individuais (Gráficos x e AM)

Segundo Werkema (1995), os gráficos de controle utilizados quando $n = 1$, são denominados gráficos para medidas individuais. As expressões empregadas para o cálculo dos limites de controle são as mesmas apresentadas no item 2.8.1.1, com as seguintes alterações:

- Fazer $n = 1$;
- Considerar \bar{x} em lugar de $\bar{\bar{x}}$.

Para estimar a variabilidade do processo utilizar a amplitude móvel (AM_i) do processo:

$$AM_i = |x_i - x_{i-1}| \quad (2.19)$$

Calcular os limites de controle:

- Gráfico x :

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{x} + 3\overline{AM} / d_2 \\ LM &= \bar{x} \\ LIC &= \bar{x} - 3\overline{AM} / d_2 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Onde \overline{AM} é a amplitude móvel média de $n=2$ é utilizado, então $d_2 = 1,128$ (encontrada no Apêndice VI Montgomery, 2004).

- Gráfico AM :

$$\begin{aligned} LSC &= D_4 \overline{AM} \\ LM &= \overline{AM} \\ LIC &= D_3 \overline{AM} \end{aligned} \quad (2.21)$$

2.8.2 Gráfico de controle para atributos

Segundo Werkema (1995), os gráficos de controle para atributos são utilizados quando as medidas representadas no gráfico resultam de contagem do número de itens do produto que apresentam uma característica particular de interesse (atributo).

Os gráficos de controle são ferramentas muito efetivas em diversas etapas dos Ciclos PDCA para melhoras e para manter.

Dentre os Gráficos de Controle para atributos existem os seguintes:

- Gráfico da proporção de defeituosos p ;

- Gráfico do número de defeitos c .

2.8.2.1 Gráfico da proporção de itens defeituosos (Gráfico p)

O gráfico p é utilizado quando a característica da qualidade de interesse é representada pela proporção de itens defeituosos produzidos pelo processo considerado. Os princípios estatísticos que governam a construção do gráfico p são baseados na distribuição binomial.

Os limites de controle do gráfico p no sistema 3σ são dados por $\mu_{\hat{p}} \pm 3\sigma_{\hat{p}}$.

Werkema (1995), afirma que como usualmente o parâmetro p (proporção de itens defeituosos fabricados pelo processo) é desconhecido, será necessário estimá-lo por meio de dados amostrais, de forma similar ao procedimento utilizado na construção dos gráficos \bar{x} e R . Com este objetivo, deve-se extrair m amostras preliminares do processo, cada uma de tamanho n . É usual que m seja igual a 20 ou 25 e que n seja tal que existam, em média, entre 1 e 5 itens defeituosos por amostra. Se x_i representar o número de itens defeituosos na i -ésima amostra, então a proporção de defeituosos nesta amostra é:

$$\hat{p}_i = \frac{x_i}{n} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2.22)$$

Então, a proporção desconhecida p de itens defeituosos será estimada pela média \bar{p} das proporções individuais de itens defeituosos p_i :

$$\bar{p} = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m x_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \hat{p}_i \quad (2.23)$$

Portanto, os limites de controle do gráfico p serão calculados por meio das equações:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{p} + 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} \\ LM &= \bar{p} \\ LIC &= \bar{p} - 3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})/n} \end{aligned} \quad (2.24)$$

2.8.2.2 Gráfico do número total de defeitos (Gráfico c)

O gráfico c é utilizado nas situações onde é necessário controlar o número total de defeitos em uma unidade do produto. A distribuição apropriada para descrever o padrão de ocorrência de eventos em um intervalo de tempo ou em uma unidade de espaço é a distribuição de Poisson.

Os limites de controle do gráfico c no sistema 3σ são dados por $\mu_c \pm 3\sigma_c$. Como o parâmetro μ_c é desconhecido, será necessário estimá-lo por meio de dados amostrais de forma similar ao procedimento utilizado na construção dos gráficos de controle estudados até agora.

Se c_i representar o número de defeitos na i -ésima amostra, então o parâmetro poderá ser estimado por :

$$\hat{\mu}_c = \hat{c} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k c_i \quad (2.25)$$

Portanto, os limites de controle do gráfico c serão calculados por meio das equações:

$$\begin{aligned} LSC &= \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \\ LM &= \bar{c} \\ LIC &= \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \end{aligned} \quad (2.26)$$

2.8.3 Limites de controle e limites de especificação

Werkema (1995) enfatiza que não existe relacionamento entre os limites dos gráficos de controle e os limites de especificação para o processo. Os limites de controle resultam da variabilidade natural do processo. Já os limites de especificação são determinados externamente, podendo ser estabelecidos pela gerência, pelos engenheiros responsáveis pela produção ou pelos responsáveis pelo planejamento do produto.

Os limites de controle nos permitem avaliar se o processo está ou não sob controle estatístico. Os limites de especificação nos permitem avaliar se o processo produz ou não itens defeituosos.

A autora destaca ainda que um processo pode se enquadrar em qualquer uma das quatro categorias apresentadas no Quadro 2.2:

Quadro 2.2: Categorias de Processo

Categoria	Resultado
O processo não está sob controle e produz itens defeituosos.	Representa o pior resultado que pode ser obtido, já que o processo está sob controle e também produz itens defeituosos.
O processo não está sob controle, mas não produz itens defeituosos.	Este processo apesar de instável, não está produzindo defeituoso, no entanto esta situação não representa segurança e então se deve adotar ações de melhoria com o objetivo de fazer com que o processo alcance o estado de controle estatístico.
O processo está sob controle, mas produz itens defeituosos.	Neste caso o processo está sob controle, mas sua capacidade não é suficiente para o atendimento às especificações. Devem então ser implementadas ações de melhoria que aumentem a capacidade do processo.
O processo está sob controle e não produz itens defeituosos.	Esta categoria representa a situação ideal, que deveria ser atingida por todos os processo de uma empresa.

Fonte: Werkema, M. C. C. (1995)

2.9 Interpretação dos Gráficos de Controle

2.9.1 Pontos fora dos limites de controle

Segundo Werkema (1995) esta é a indicação mais evidente de falta de controle de um processo, a qual exige uma investigação imediata da causa de variação assinalável responsável pela sua ocorrência. A Figura 2.9 retrata a ocorrência e pontos fora dos limites de controle.

Para a autora, muitas vezes a ocorrência de pontos fora dos limites de controle pode ser o resultado de erros de registro dos dados, de cálculo ou de medição. Esta falta de controle do processo também pode ocorrer, por exemplo, em consequência da utilização de algum instrumento descalibrado de uma ação incorreta realizada por algum operador ou de defeitos nos equipamentos.

2.9.2 Periodicidade

A periodicidade está presente quando a curva traçada no gráfico de controle apresenta repetidamente uma tendência para cima e para baixo, em intervalos de tempo que tem aproximadamente a mesma amplitude (WERKEMA, 1995).

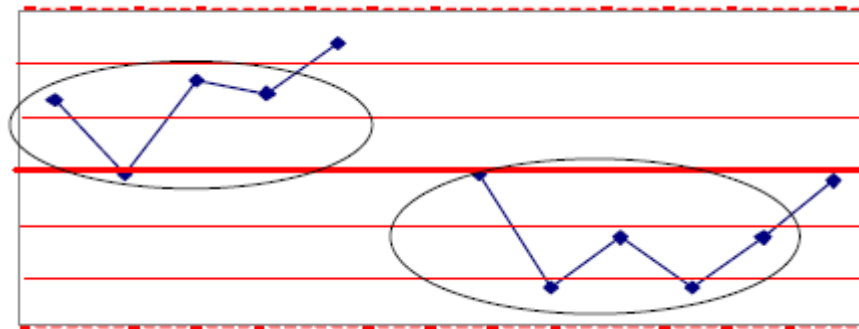
Alguns exemplos de causas especiais que podem provocar o surgimento da periodicidade são mudanças sistemáticas nas condições ambientais, cansaço do operador, rotatividade regular de

operadores ou máquinas, flutuação na voltagem, na pressão ou em alguma outra variável de equipamentos utilizados na produção e alterações sazonais na qualidade da matéria-prima.

2.9.3 Seqüência

Uma seqüência é uma configuração em que vários pontos consecutivos do gráfico de controle aparecem em apenas um dos lados da linha média. O número de pontos nesta situação é denominado comprimento da seqüência.

Uma seqüência indica uma mudança no nível do processo. Estas mudanças podem resultar, por exemplo, da introdução de novos operadores, matérias-primas ou máquinas, de alterações nos métodos de inspeção ou nos padrões operacionais e de mudanças na habilidade, atenção



ou motivação dos operadores (WERKEMA, 1995). A Figura 2.10 apresenta um exemplo de uma seqüência de dados.

Figura 2.10: Exemplo de 4 em 5 pontos consecutivos além dos limites 1-sigma.

Fonte: SOARES, Valentina de L. M. de P (2003)

2.9.4 Tendência

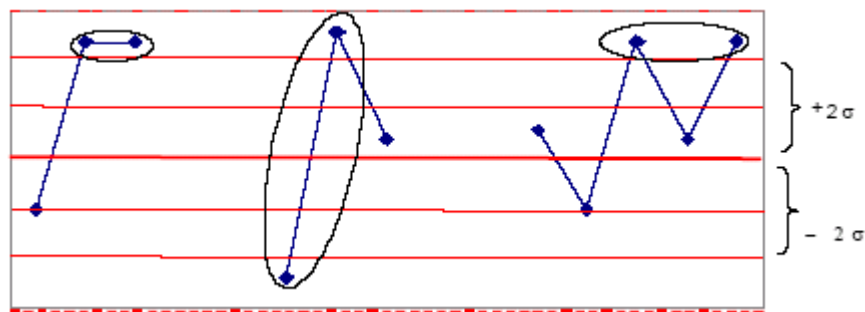
Uma tendência consiste em um movimento contínuo dos pontos do gráfico de controle em uma direção (ascendente ou descendente). A ocorrência de uma tendência constituída por sete ou mais pontos consecutivos ascendentes ou descendentes é uma indicação de falta de controle no processo.

As tendências são geralmente provocadas pelo desgaste ou deterioração graduais de ferramentas ou de equipamentos, mas também podem ser devidas a fatores humanos, tais como cansaço do operador ou presença de supervisores. Mudanças graduais nas condições

ambientais (temperatura, pressão e umidade) também podem resultar em tendências (WERKEMA, 1995).

2.9.5 Aproximação dos limites de controle

A aproximação dos limites de controle corresponde à ocorrência de dois de três pontos consecutivos fora dos limites 2σ , apesar destes pontos ainda estarem dentro dos limites de controle. Para uma melhor compreensão a Figura 2.11 traz um exemplo de aproximação dos



limites de controle

Figura 2.11 Exemplo de 2 em 3 pontos, além das linhas de 2-sigmas.

Fonte: SOARES, Valentina de L. M. de P (2003)

Quando os pontos grafados tendem a cair próximos ou mesmo levemente fora dos limites de controle, com relativamente poucos pontos próximos da linha média, podem existir duas diferentes distribuições sobrepostas gerando o resultado do processo.

2.9.6 Aproximação da linha média

Quando a maioria dos pontos grafados está distribuída muito próximo da linha média, dentro das linhas centrais $1,5\sigma$ e portanto apresentando uma variabilidade menor do que a esperada, obtemos uma indicação de que podem ter ocorrido erros nos cálculos dos limites de controle ou de que os subgrupos racionais forma formados de maneira inadequada (WERKEMA, 1995).

Portanto a aproximação da linha média não significa um estado de controle, mas pode estar indicando a mistura de dados provenientes de populações distintas em um mesmo subgrupo, o que aumenta muito a largura dos limites de controle. Neste caso será necessário mudar o modo de formação dos subgrupos.

2.10 Subgrupos Racionais

Segundo Werkema (1995), um dos princípios básicos que rege a construção de gráficos de controle estabelece que as amostras utilizadas devem constituir subgrupos tão homogêneos quanto possíveis da produção do processo considerado, os quais são conhecidos como subgrupos racionais.

Dentro de cada subgrupo racional as variações deverão ser provocadas apenas por causas aleatórias.

Werkema nos mostra duas abordagens gerais que podem ser utilizadas para a construção de subgrupos racionais.

Na primeira, cada amostra consiste de duas unidades que foram produzidas no mesmo momento ou em instantes de tempo os mais próximos possíveis. Esta abordagem é usada quando o principal objetivo do gráfico de controle é detectar mudanças que possam ter ocorrido no processo. Ela minimiza a possibilidade da presença de variabilidade devido a causas especiais dentro de uma amostra e maximiza a possibilidade da ocorrência de variabilidade entre as amostras, se causas especiais estiverem presentes.

Na segunda abordagem, cada amostra consiste de unidades do produto que são representativas de todas as unidades produzidas desde que a última amostra foi retirada. Basicamente, cada subgrupo é uma amostra aleatória de toda a produção do processo durante o intervalo de amostragem. Este método de formação de subgrupos racionais é freqüentemente usado quando o gráfico de controle é empregado na tomada de decisões sobre a aceitação de todas as unidades produzidas desde o instante em que a última amostra foi coletada.

O conceito de subgrupos racionais é muito importante. A seleção adequada das amostras requer uma consideração cuidadosa do processo, com o objetivo de que possa ser obtido o máximo de informações a partir da análise dos gráficos de controle.

2.11 Capacidade de Processos

Estudos de Capacidade de Processo são investigações estatísticas de um processo para quantificar a sua variabilidade e se tal processo tem condições de atender às especificações.

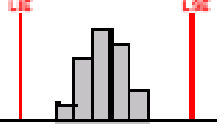
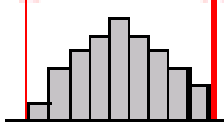
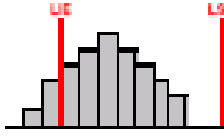
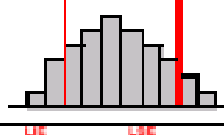
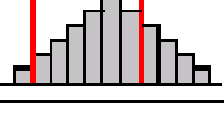
Segundo Werkema (1995) é possível que mesmo um processo com variabilidade controlada previsível produza itens defeituosos. Logo, não é suficiente simplesmente colocar e manter um processo sob controle. É fundamental avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas a partir dos desejos e necessidades dos clientes.

A capacidade do processo é definida a partir da faixa $\mu \pm 3\sigma$, a qual é denominada faixa característica do processo. Se o processo estiver sob controle e se for verdadeira a suposição de normalidade, 99,73% dos valores da variável x de interesse devem pertencer a esta faixa. Para estudar a capacidade do processo devemos então comparar esta faixa com as especificações.

2.11.1 Análise gráfica da capacidade de processos

A análise gráfica da capacidade de um processo consiste na comparação de histogramas e/ou gráficos seqüenciais construídos para a característica da qualidade de interesse com os limites de especificação. O Quadro 2.3 representa melhor esta análise.

Quadro 2.3: Análise gráfica da capacidade de um processo.

CLASSIFICAÇÃO	COMPARAÇÃO GRÁFICA	CARACTERÍSTICAS	AÇÕES PERTINENTES
VERDE ADEQUADO BOA CAPABILIDADE		- Todos os dados estão localizados dentro dos Limites de Especificação com uma boa margem de segurança de ambos os lados. Esta margem é de pelo menos 1 σ .	- Como o histograma atende à especificação com folga, só precisa manter a atual situação. - O processo está pronto para ser delegado para as pessoas que o operam.
AMARELO ACEITÁVEL CAPABILIDADE RAZOÁVEL		- Todos os dados estão localizados dentro dos Limites de Especificação, porém, aparecem alguns resultados muito próximos deles. Esta distância entre os valores extremos e os limites é menor do que 1 σ .	- Como praticamente não existe uma margem extra, é importante reduzir um pouco a variabilidade. - A gerência deve promover uma melhoria (PDCA) de tal forma que o processo se torne verde.
VERMELHO INCAPAZ INADEQUADO		- alguns dados estão localizados fora dos Limites de Especificação, exigindo inspeção 100% para separar os itens defeituosos e garantir a qualidade especificada.	- É necessário agir para trazer a média mais próxima ao centro da especificação.
			- São necessárias ações para reduzir a variação – melhoria do processo (PDCA).
			- São necessárias não só ações para reduzir a variação, como também para trazer a média mais próxima ao centro da especificação.

Fonte: Adaptado de Soares, G. M. V. P. P (2001)

2.11.2 Índices de capacidade

Os índices de capacidade processam as informações de forma que seja possível avaliar se um processo é capaz de gerar produtos que atendam às especificações provenientes dos clientes internos e externos. Estes índices são números adimensionais que permitem uma quantificação do desempenho dos processos (WERKEMA, 1995).

2.11.2.1 Índice de potencial do processo (C_p)

Segundo Werkema (1995), o índice de potencial do processo, mede a capacidade potencial do processo, relacionando aquilo que se deseja produzir ($LSE - LIE$) que corresponde à variabilidade permitida do processo, com a variabilidade natural do processo (6σ). De acordo com o tipo especificação tem-se as seguintes fórmulas de cálculo do C_p :

- Especificações Bilaterais (LSE e LIE):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \quad (2.27)$$

- O desvio-padrão do processo σ normalmente é desconhecido, sendo então substituído por $\hat{\sigma}$ que é uma estimativa retirada das amostras, no cálculo do índice pela fórmula:

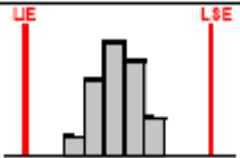
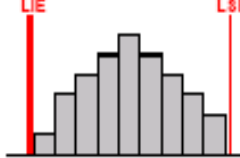
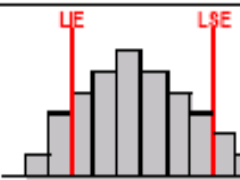
$$\hat{\sigma} = \frac{\overline{AM}}{d_2} \quad \text{ou} \quad \frac{\bar{S}}{c_4} \quad \text{ou} \quad \frac{\bar{R}}{d_2} \quad (2.28)$$

- Portanto, a estimativa \hat{C}_p de C_p será calculada por meio da expressão:

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad (2.29)$$

O Quadro 2.4 apresenta um critério de classificação de processos, tomando como referencial a valor de C_p . É mostrada também a proporção de não-conformidades (proporção de itens que não satisfazem as especificações), e um exemplo de histograma típico correspondente a cada um dos critérios.

Quadro 2.4: Classificação de Processos a partir do Índice C_p .

CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO	COMPARAÇÃO DO HISTOGRAMA COM AS ESPECIFICAÇÕES	VALOR DE C_p	PROPORÇÃO DE DEFEITUOS (p)
VERDE ADEQUADO CAPAZ		$C_p \geq 1,33$	$p \leq 64ppm$
AMARELO ACEITÁVEL		$1 \leq C_p < 1,33$	$64ppm < p \leq 0,27\%$
VERMELHO INCAPAZ INADEQUADO		$C_p < 1$	$p > 0,27\%$

Fonte: Werkema, M. C. C. (1995)

2.11.2.2 Índice de desempenho do processo (C_{pk})

Segundo Werkema (1995), o índice C_{PK} nos permite avaliar se o processo está sendo capaz de atingir o valor nominal da especificação, já que leva em consideração o valor da média do processo. Logo, o índice C_{PK} pode ser interpretado como uma medida da capacidade do processo. C_{pk} é definido por:

$$C_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LIE}{3\sigma} \right] \quad (2.30)$$

C_{pk} é calculado em relação ao limite de especificação mais próximo da média do processo.

Quando a média do processo coincide com o valor nominal da especificação, teremos $C_p = C_{pk}$.

Como a média μ e o desvio padrão σ do processo usualmente são desconhecidos, deveremos substituí-los por estimativas adequadas ($\bar{\bar{x}}$ e s , \bar{R}/d_2 ou \bar{s}/c_4 , respectivamente) e portanto a estimativa \hat{C}_{pk} de C_{pk} será calculada por meio da expressão:

$$\hat{C}_{pk} = \text{MIN} \left[\frac{LSE - \bar{\bar{x}}}{3\hat{\sigma}}, \frac{\bar{\bar{x}} - LIE}{3\hat{\sigma}} \right] \quad (2.31)$$

Na Tabela 2.1 encontra-se a interpretação do índice C_{pk} :

Tabela 2.1 : A Interpretação do Índice C_{pk}

C_{pk}	INTERPRETAÇÃO	AÇÕES PERTINENTES	RELAÇÃO DO VALOR NOMINAL E A LINHA CENTRAL DO PROCESSO
$C_{pk} \geq 2,0$	PROCESSO EXCELENTE Altamente confiável	Os operadores têm perfeito controle do processo	Se $C_p = C_{pk} \Rightarrow$ Processo centrado
$1,33 \leq C_{pk} \leq 2,0$	PROCESSO CAPAZ Relativamente confiável	Os operadores têm que monitorar para evitar deterioração	Se $C_{pk} \neq C_p \Rightarrow$ Processo está fora de alvo
$1,00 \leq C_{pk} < 1,3$	PROCESSO RELATIVAMENTE INCAPAZ Pouco confiável	Exige dos operadores controle contínuo	$C_{pk} < C_p$ Processo está fora do alvo, mas está dentro dos limites de Especificação
$0 < C_{pk} < 1$	PROCESSO INCAPAZ Podemos ter produção defeituosa	Exige dos operadores controle de 100% da produção.	$C_{pk} < C_p$ A linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos Limites de Especificação (podemos ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites Especificação)
$C_{pk} < 0$	PROCESSO TOTALMENTE INCAPAZ Não tem condições de manter as especificações		$C_{pk} < C_p$ A linha central do processo está fora dos Limites de Especificação Se $C_{pk} < -1 \Rightarrow$ Toda a produção está fora dos Limites de Especificação

FONTE: Adaptação da interpretação dos índices C_{pk} do modelo Soares (2001).

3. A Rotina de Realização de um Estudo de Capacidade de Processo

Será apresentada a seguir, uma rotina passo-a-passo para a realização de um Estudo de Capacidade de Processo em uma linha de produção de uma indústria de refrigerantes, considerando as características Brix (relação de água e açúcar do refrigerante) e carbonatação (quantidade de gás carbônico adicionada ao refrigerante) (SPAIPA, 2006).

3.1 Passos Para o Estudo

Conforme procedimentos operacionais padrões da empresa, determinou-se os seguintes passos para o estudo:

3.1.1 Passo 1 – Identificação da programação da fábrica

Identificar na programação da fábrica uma produção suficientemente longa, de modo a ser representativa do processo a ser estudado.

3.1.2 Passo 2 - Cálculo do tempo

Calcular o tempo aproximado de produção

3.1.3 Passo 3 – Divisão do tempo de produção

Dividir o tempo de produção por 30. Isto é feito porque a intenção é coletar pelo menos 30 amostras aleatórias do processo. O resultado da divisão por 30 fornece o intervalo médio de tempo entre as coletas de amostras. É bom lembrar que, de fato, alguns tempos entre coletas serão maiores, outros serão menores do que o tempo médio estimado. Para a determinação destes tempos de coleta, será utilizada uma tabela de números aleatórios.

3.1.4 Passo 4 – Determinação dos tempos

Determinar os tempos reais de coleta de amostra utilizando a tabela de números aleatórios, ou um gerador de números aleatórios.

3.1.5 Passo 5 – Revisão da Calibração

Revisar a calibração/manutenção de todos os instrumentos de teste. Todos eles devem estar com plena capacidade de utilização, exatos, precisos e confiáveis.

3.1.6 Passo 6 – Verificação dos termômetros

Verificar todos os termômetros que serão utilizados durante o estudo, para garantir que as temperaturas lidas sejam confiáveis.

3.1.7 Passo 7 – Croqui dos painéis

Fazer um croqui de todos os painéis e medidores dos equipamentos que fornecerão leituras relativas ao processo, conforme pode ser visto na Figura 3.1.

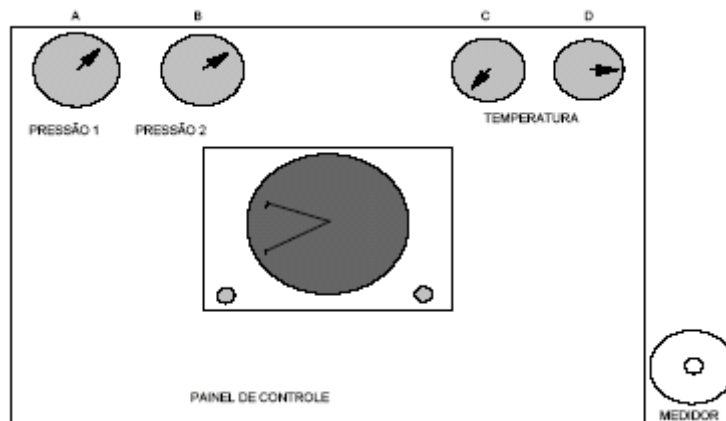


Figura 3.1.: Croqui dos painéis e medidores dos equipamentos

Fonte: SPAIPA, 2006

3.1.8 Passo 8 – Desenvolvimento de Planilhas

Desenvolver uma planilha para o registro de todos os resultados, como pode ser visto na Figura 3.2. Observar que cada mostrador é identificado por uma letra, para simplificação.

É bom lembrar que os resultados obtidos pelas análises no laboratório serão usados para se tomar eventuais decisões quanto ao processo estudado. São, portanto, a base de tomada de decisões e, por isso, há que se ter plena confiança nestes dados. Todas as análises devem ser realizadas por um mesmo laboratorista.

Tempo	Amostra No	A	B	C	D	E	F	Resultado		Eventos Especiais
								1	2	

Figura 3.2.: Planilha para registro dos resultados.

Fonte: SPAIPA, 2006

3.1.9 Passo 9 – Estudo de Capacidade

Quando a produção já corre normalmente, pode ser iniciado o Estudo de Capacidade de Processo propriamente dito:

- Ao chegar o tempo de coleta de uma amostra, começar as anotações a partir dos medidores mais afastados do ponto de coleta na enchedora;
- Registrar a hora, o número da amostra, e a leitura de cada medidor (termômetro, manômetro) nas colunas apropriadas. Completar as leituras e coletar a amostra;
- Identificar claramente a amostra e colocá-la de lado para que seja analisada posteriormente;
- Utilizar a coluna de Eventos Especiais/Observações para registrar quaisquer paradas de linha, ou outros acontecimentos especiais que possam interferir no funcionamento contínuo da linha. É uma boa idéia registrar todas as leituras dos mostradores durante uma parada, mesmo que não seja um momento de coleta de amostra. Isto tem o propósito de permitir a identificação e a quantificação do impacto que as paradas de linha possam ter no processo;
- Deve ser enfatizado que ajustes no processo devem ser evitados, a menos que se note o perigo de que um produto fora de especificação esteja prestes a ser produzido;

3.1.10 Passo 10 - Coletas das amostras

A coleta de amostras continua a ser efetuada, tanto quanto as leituras respectivas dos mostradores.

- Deve-se ter muito cuidado na identificação das amostras e do seu registro na planilha do Estudo de Capacidade de Processo;
- Retirar no mínimo 20 amostras, mas, preferivelmente 30 unidades.

3.1.11 Passo 11 – Igualar temperaturas

Após coletar todas 30 amostras, permitir que atinjam a mesma temperatura para as análises.

3.1.12 Passo 12 – Orientação do laboratorista

Orientar o laboratorista para analisar as amostras aleatoriamente (fora de ordem de coleta), em termos de carbonatação e depois de Brix. Registrar cuidadosamente cada número de amostra e resultado de análise.

3.1.13 Passo 13 - Iniciar a análise dos dados

- Construir um histograma tanto do desempenho da carbonatação, quanto do Brix;
- Traçar os limites de especificação nos histogramas correspondentes;
- Processos capazes de produzir alta qualidade terão seus histogramas bem centralizados e dentro dos limites de especificação. Aqueles que não estiverem nestas condições são um alerta para a operação;
- Analisar causas e efeitos:
 - ✓ Comparar as variações dos medidores com os resultados de carbonatação ao longo do tempo, utilizando gráficos;
 - ✓ Identificar aquelas partes do processo que contribuem para a variabilidade do seu desempenho.

3.2 Utilização de Tabelas de Números Aleatórios

Supondo um o planejamento de um Estudo de Capacidade de Processo em uma produção de refrigerante, que, segundo a programação da fábrica terá uma duração de 5,5 horas. Portanto, para coletar 30 amostras em 5,5 horas, o responsável pelo estudo teria que coletar uma amostra de 11 em 11 minutos (intervalo médio).

$$(5,5 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos/hora}) \div 30 \text{ amostras} = 11 \text{ minutos} \quad (3.1)$$

É importante que as amostras sejam coletadas aleatoriamente, para se evitar que ciclos imprevistos ou outro viés que possa prejudicar a representatividade das amostras.

Como visto acima, o intervalo médio calculado para a coleta das amostras é de 11 minutos. Assim, alguns intervalos serão maiores, outros serão menores do que o tempo médio. O primeiro passo, é determinar qual será o intervalo mínimo e qual o máximo, de modo que a média de 11 minutos seja respeitada. A Figura 3.3 ilustra esta questão.

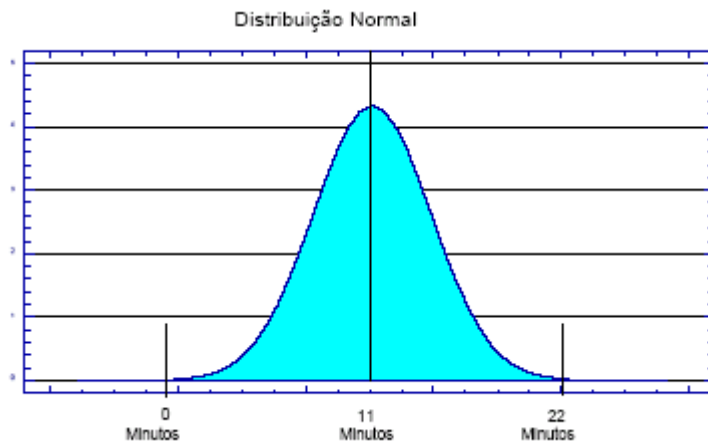


Figura 3.3.: Intervalo médio para coleta das amostras

Fonte: SPAIPA, 2006

O modelo de distribuição normal pode ser utilizado para se determinar a faixa de tempo onde devem situar-se os intervalos de amostragem, de modo que o tempo médio seja de 11 minutos. Na Figura 3.3, o tempo mínimo entre amostras é de zero minutos, o que é óbvio - seria possível coletar duas amostras praticamente ao mesmo tempo. Se o tempo mínimo é de zero minutos, e o tempo médio entre tomada de amostras é de 11 minutos o raciocínio é o

seguinte: assumindo-se uma distribuição normal, resulta que o tempo máximo entre amostras é de 22 minutos.

Usando este modelo, deve-se coletar amostras aleatoriamente, com o tempo entre amostras variando entre 0 e 22 minutos. Os tempos de amostragem podem então ser determinados pelo uso de uma tabela de números aleatórios.

Para selecionar os tempos na tabela de números aleatórios, deve-se escolher um ponto inicial e em seguida, decidir-se por utilizar os dois primeiros dígitos da tabela. Enquanto os números encontrados forem maiores do que 22 minutos, percorre-se a tabela até encontrar um número que satisfaça às condições estabelecidas.

Portanto, depois que a amostra inicial para carbonatação foi coletada, espera-se 7 minutos antes de coletar a próxima amostra. Continuando pela tabela, observa-se que a próxima amostra deve ser coletada 9 minutos em seguida e assim por diante, até que estejam determinados os tempos de coleta para as 30 amostras requeridas. A Tabela 3.1 nos mostra um exemplo de tabela de números aleatórios

Tabela 3.1.: Números aleatórios

Ponto inicial									
85967	73152	14511	85285	36009	95892	36962	67835	63314	50162
07483	51453	11649	86348	76431	81594	95848	36738	25014	15460
96283	01898	61414	83525	04231	13604	75339	11780	85423	60698
49174	12074	98551	37895	93547	24769	09404	76548	05393	96770
97366	39941	21225	93629	19574	71565	33413	56067	40875	13351
90474	41469	16812	81542	81652	45554	27931	93994	22375	00953
28599	64109	09497	76235	41383	31555	12639	00619	22909	29563
25254	16210	89717	65997	82667	74624	36348	44018	64732	93589
28785	02760	24359	99410	11319	73408	58993	61098	04393	48245
84725	86576	86944	93296	10081	82454	76810	52975	10324	15457
41059	66456	47679	66810	15941	84602	14493	65515	19251	41642
67434	41045	82830	47617	36932	46728	71183	36345	41404	81110
72766	68816	37643	19959	57550	49620	98480	25640	67257	18671
92079	46784	66125	94932	64451	29275	57669	66558	30816	58353
29187	40350	62533	73603	34075	16451	42885	03448	37390	96328
00000	17612	65522	80607	19184	64164	66962	82310	18163	63495
03786	02407	06098	92917	40434	60602	82175	04470	78754	90775
75085	55558	15520	27038	25471	76107	90832	10819	56797	33751
09161	33015	19155	11715	00551	24909	31894	37774	37953	78837
75707	48992	64996	87080	39333	00767	45837	12538	67439	94914
21333	48660	31288	00086	79889	75532	28704	62844	92337	99695
65626	50061	42539	14812	48895	11196	34335	60492	70650	51108
84380	07389	87891	76255	89604	41372	10837	66992	93183	56920
46479	32072	80083	63868	70930	89654	05359	47196	12452	38234
59847	97197	55147	46639	76971	55928	36441	95141	42333	67483

Fonte: SPAIPA, 2006.

4. Aplicação da Metodologia Proposta

4.1 Estudo de Capacidade de Processo

As indústrias de bebidas em geral possuem várias seqüências em seus processos produtivos. A primeira fase constitui o processamento do xarope final, onde são misturados seus ingredientes. A segunda fase é o envase da bebida, onde é misturada água carbonatada ao xarope final, e em seguida as garrafas vão para o empacotamento e paletização.

A fábrica aqui considerada produz dois milhões de caixas físicas/mês e, recentemente instalou uma nova linha de engarrafamento. Apesar de nova, a linha estava apresentando baixo desempenho em termos de carbonatação. O *rating* de carbonatação para esta linha estava muito baixo e com tendência a cair ainda mais. Com o propósito de identificar a origem do problema, decidiu-se realizar um Estudo de Capacidade de Processo.

A estratégia de ação incluiu os seguintes passos:

- Foi identificada uma próxima produção de Refrigerante PET 2L, prevista para 5 horas;
- O tempo médio de coleta de amostras de 10 minutos foi calculado da seguinte maneira:

$$(5,0 \text{ horas} \times 60 \text{ minutos/hora}) \div 30 \text{ amostras} = 10 \text{ minutos} \quad (4.1)$$

- Foi confirmado que toda a produção procederia de um único tanque de xarope;
- Uma tabela de números aleatórios foi utilizada para estabelecer os intervalos de coleta de amostra, tabela esta usada nos procedimentos operacionais padrões da própria empresa, os resultados foram registrados na Tabela 4.1:

Tabela 4.1.: Intervalos de Coleta das Amostras

Número da Amostra	Tempo [min]	Número da Amostra	Tempo [min]	Número da Amostra	Tempo [min]
1	0	11	18	21	07
2	03	12	02	22	06
3	15	13	03	23	01
4	04	14	05	24	14
5	09	15	04	25	09
6	10	16	10	26	05
7	08	17	05	27	04
8	08	18	09	28	06
9	06	19	07	29	07
10	05	20	03	30	10

- Foi designado um único laboratorista para fazer todas as análises. Ele foi instruído para verificar as condições do densímetro e do medidor de carbonatação que seria usado. Isto foi feito da seguinte maneira:
 - ✓ Densímetro - limpo e recalibrado. Em seguida, foram feitas medidas repetidas de uma mesma amostra de Refrigerante. Os resultados estão na Tabela 4.2.
 - ✓ Medidor de Carbonatação - foi limpo e inspecionado em todos seus detalhes. Seu manômetro foi aferido adequadamente. Decidiu-se utilizar um único termômetro aferido para determinar a temperatura do produto. Pediu-se ao laboratorista que testasse a carbonatação do produto de uma linha de produção, que produzia consistentemente dentro de uma volta da enchedora. Os resultados são apresentados na Tabela 4.2:

Tabela 4.2.: Medidas de Brix e Carbonatação

	BRIX	CARBONATAÇÃO
	10.92	3.93
	10.96	3.93
	10.92	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.91
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.92	3.94
	10.96	3.93
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.96	3.99
	10.96	3.93
	10.96	3.96
	10.96	3.94
	10.96	3.94
	10.96	3.88
	10.96	3.91
	10.92	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.93
	10.96	3.97
	10.96	3.94
	10.96	3.91
	10.96	3.97
	10.96	3.93
	10.96	3.94
	10.96	3.93
	10.96	3.94
	10.96	3.93
N°de Amostras	30	30
Média	10,955	3,935
Desvio-padrão	0,014	0,020

Como se pode ver, os desvios-padrão são muito pequenos e, tanto o laboratorista, quanto os instrumentos de medição, apresentaram boas condições para a realização do Estudo de Capacidade de Processo.

- Um croqui do painel de controle foi feito, conforme recomendado, com todos os mostradores identificados. Como o equipamento era novo, não houve necessidade de consertos ou ajustes;
- Uma planilha de coleta de dados foi preparada e pode ser vista na Figura 4.1. Note-se que dados como a data, a hora, a linha de produção, também devem ser registradas nesta planilha, para permitir uma fácil localização posterior.

Tempo	Amostra	A	B	C	D	E	F	Resultado Brix/Ratio	Resultado Carbonatação	OBS.
0	1									
03	2									
15	3									
04	4									
09	5									
10	6									
08	7									
08	8									
06	9									
05	10									
18	11									
02	12									
03	13									
05	14									
04	15									

Identificação dos Medidores

A = Pressão do Tanque - produção D = Pressão do Tanque de Carbonatação
 B = Pressão do Tanque - linha parada E = Temperatura do Produto
 C = Pressão de Suprimento de CO₂ F = Posição do Micrometro de Água

Figura 4.1.: Linha 3 – Enchedora / Tempo de Produção = 5 horas

- Quando chegou a hora da produção, a linha foi preparada e todos os testes iniciais executados. A linha foi posta em funcionamento. Todos os medidores foram verificados e as leituras anotadas na planilha, conforme as recomendações anteriores. Estas leituras foram registradas com Tempo 0 e Amostra nº 1. A amostra foi coletada e guardada para análise posterior;
- A próxima amostra deveria ser coletada 3 minutos mais tarde, conforme o intervalo selecionado através da tabela de números aleatórios. Procedeu-se da mesma maneira anterior. Uma planilha completa com as leituras realizadas pode ser vista na Tabela

4.3. Pode-se observar que nenhum ajuste foi levado a efeito na linha. No entanto, diversas paradas de linha foram registradas. A coluna de Observações deve ser utilizada, porque pode ajudar a identificação de problemas do processo, que anteriormente não tivessem sido compreendidos.

Tabela 4.3.: Resultados das Amostras Coletadas

Tempo	Amostra No	A	B	C	D	E	F	Resultado Brix/Ratio	Resultado Carbonatação	Observações
0	1	62	68	280	49	47,5	18			
03	2	61	68	280	49	45,7	18			
15	3	62	68	285	49	46,5	18			Parada de linha, rotuladora
04	4	61	68	280	49	45,3	18			
09	5	61	68	280	49	45,4	18			
10	6	62	68	275	49	45,6	18			
08	7	61	68	280	49	45,5	18			
08	8	61	68	270	49	45,4	18			
06	9	61	68	275	49	44,9	18			
05	10	62	68	270	49	45	18			Parada de linha, rotuladora
18	11	62	68	285	49	44,5	18			
02	12	62	68	280	49	45,3	18			
03	13	61	68	285	49	44,8	18			
05	14	62	67	280	49	45,3	18			
04	15	61	68	235	49	44,9	18			
10	16	61	68	280	49	45,1	18			
05	17	62	67	275	49	45,1	18			
09	18	62	67	280	49	45,3	18			Parada de linha, rotuladora
07	19	61	68	275	49	46	18			
03	20	62	67	275	49	44,6	18			
07	21	60	67	270	49	44,4	18			
06	22	61	67	275	49	44,5	18			
01	23	61	67	275	49	45,4	18			
14	24	61	67	280	49	45,3	18			
09	25	62	67	275	49	45,1	18			
05	26	62	67	275	49	45,3	18			
04	27	61	67	275	49	45,4	18			
06	28	60	67	280	49	45,4	18			
07	29	61	67	275	49	45	18			
10	30	62	67	275	49	45,5	18			

A = Pressão do tanque - produção

B = Pressão do tanque - linha parada

C = Pressão de suprimento de CO2

D = Pressão do tanque de carbonatação

E = Temperatura do produto

F = Posição do micrômetro de água

- Todas as 30 amostras foram postas de lado, até a hora das análises, de modo a atingir equilíbrio;
- As amostras foram analisadas aleatoriamente quanto a carbonatação e Brix e os resultados foram registrados conforme a Tabela 4.4:

Tabela 4.4.: Resultados de Carbonatação e Brix

Amostra No	Carbonatação	Brix
8	3.87	10.89
17	3.93	10.89
12	3.76	10.89
2	3.87	10.89
25	3.88	10.91
21	3.99	10.91
10	3.70	10.89
14	3.93	10.89
5	3.93	10.91
3	3.82	10.89
1	3.75	10.88
15	3.66	10.89
30	3.93	10.91
20	3.88	10.91
29	3.88	10.88
23	3.88	10.91
4	3.62	10.89
19	3.88	10.91
18	3.94	10.91
28	3.83	10.91
16	3.88	10.91
27	3.88	10.91
24	3.94	10.91
11	3.88	10.89
6	3.93	10.89
22	3.94	10.91
20	3.94	10.91
13	3.59	10.89
9	3.76	10.89
7	3.82	10.91

- Os dados foram posteriormente ordenados e os valores das médias e dos desvios-padrão foram calculados, conforme se pode ver na Tabela 4.5:

Tabela 4.5.: Média e Desvio-Padrão

Brix Produto	CO2	A Produção Pressão do Tanque	B Linha Parada Pressão do Tanque	C CO2 Pressão de Suprimento	D Carbonatação Pressão do Tanque	E Água Micrômetro	F Temperatura	
10.88	3.75	62	68	280	49	18	47.5	
10.89	3.87	61	68	280	49	18	45.7	
10.89	3.82	62	68	285	49	18	46.5	
10.89	3.82	61	68	280	49	18	45.3	
10.91	3.93	61	68	280	49	18	45.6	
10.89	3.93	62	68	275	49	18	45.5	
10.91	3.82	61	68	280	49	18	45.4	
10.89	3.87	61	68	270	49	18	44.9	
10.89	3.76	61	68	275	49	18	45	
10.89	3.70	62	68	270	49	18	44.5	
10.89	3.88	62	68	285	49	18	45.3	
10.89	3.76	62	68	280	49	18	44.8	
10.89	3.59	61	67	285	49	18	45.3	
10.89	3.93	62	68	280	49	18	44.9	
10.89	3.66	61	68	275	49	18	45.1	
10.91	3.88	61	67	280	49	18	45.1	
10.89	3.93	62	67	275	49	18	45.3	
10.91	3.94	62	68	280	49	18	46	
10.91	3.88	61	67	275	49	18	44.6	
10.91	3.94	62	67	275	49	18	44.4	
10.91	3.99	60	67	270	49	18	44.5	
10.91	3.94	61	67	275	49	18	45.4	
10.91	3.88	61	67	275	49	18	45.3	
10.91	3.94	61	67	280	49	18	45.1	
10.91	3.88	62	67	275	49	18	45.3	
10.91	3.88	62	67	275	49	18	45.4	
10.91	3.88	61	67	275	49	18	45.4	
10.91	3.83	60	67	280	49	18	45	
10.88	3.88	61	67	275	49	18	45.5	
10.91	3.93	62	67	275	49	18	45.4	
n = 30	30	30	30	30	30	30	30	
				Média				
10.899	3.850	61.367	67.533	277.633	49	18	45.3	
				Desvio Padrão				
0.011	0.100	0.605	0.499	4.028	0	0	0.564	

As médias calculadas ficaram da seguinte forma: BRIX: 10,899°, CO2: 3,850 Volumes, Pressão do tanque na hora da produção: 61,387 PSI, Pressão do tanque com a linha parada: 67,533 PSI, Pressão do suprimento de CO2: 277,633 PSI, Pressão do tanque da carbonatação: 49 PSI, Posição do micrômetro na água: 18, Temperatura: 45,3°.

Como passo seguinte, foram desenhados os histogramas para os dados de Brix e de carbonatação. Conforme Figuras 4.2 e 4.3, neles foram incluídos as especificações e os valores-alvo.

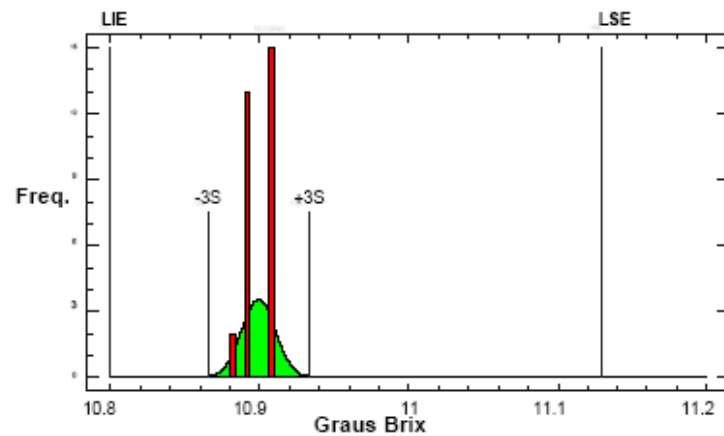


Figura 4.2.: Capacidade de Processo para Refrigerante / BRIX da Bebida

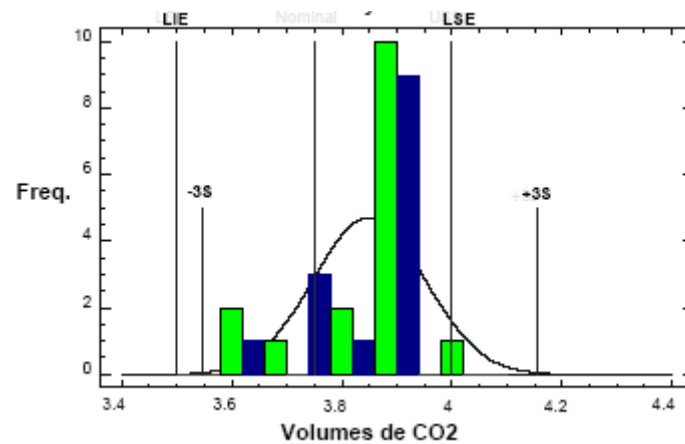


Figura 4.3.: Capacidade de Processo para Refrigerante / Carbonatação

Como se pode observar na Figura 4.3, a curva de distribuição normal ultrapassa o Limite Superior de Especificação. Isto significa que o processo de carbonatação está com uma variabilidade muito grande e, no momento, não é capaz de atender às especificações. Por este motivo, foi feita uma investigação para saber quais eram as causas da incapacidade do processo de carbonatação.

4.2 Conclusões da Investigação

- Todas as variáveis associadas a carbonatação apresentaram desvio-padrão muito pequeno;
- Várias pessoas observaram formação excessiva de espuma na enchedora;
- Decidiu-se instalar um monitor de Brix e carbonatação entre o carbonatador e a enchedora;
- O monitor indicou que a carbonatação era estável e consistente e o produto chegava a enchedora com desvio-padrão de 0,05 Volumes ou menor;
- Suspeitou-se das válvulas de enchimento, localizadas na enchedora, onde é feito o envase da bebida;
- Discussões com o fornecedor revelaram que as válvulas eram um novo protótipo e não aquilo que o engarrafador pensava que havia comprado;

Em conseqüência, todas as válvulas foram substituídas e um novo Estudo de Capacidade de Processo foi feito e o resultado obtido pode ser visto na Figura 4.4:

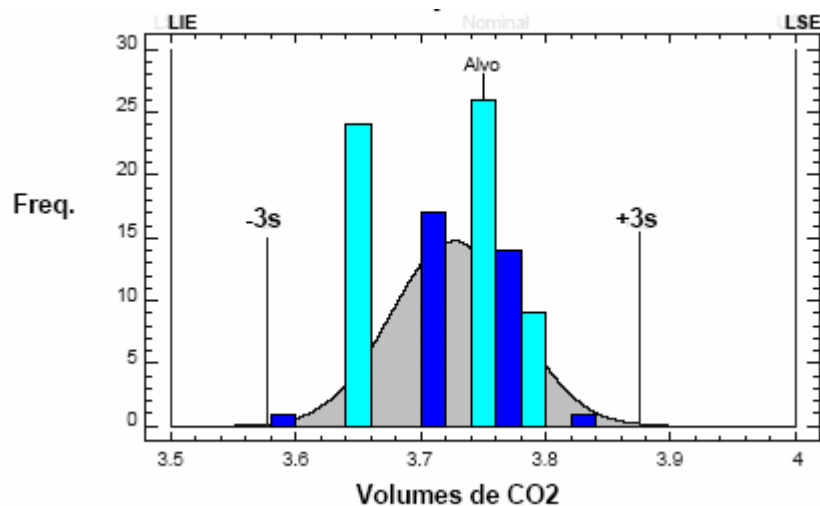


Figura 4.4.: Capacidade de Processo para Refrigerante / Carbonatação da Bebida

5. Conclusão

Apresentando uma visão geral de qualidade e também a utilização do CEP como ferramenta de análise através dos gráficos de controle e índices, buscou-se a melhoria contínua da qualidade, acompanhando melhor o desempenho desse processo, através do estudo de capacidade de processo, pois o CEP é muito importante não somente para controlar o processo que está sob controle, mas também daquele que continua sob avaliação, sendo o mesmo indispensável para todas as empresas que visam o melhoramento dos seus processos produtivos, reduzindo assim o custo de seu produto.

Deve ficar bem claro que as ferramentas de Capacidade de Processo podem aumentar substancialmente as chances de sucesso na condução de processos. Um processo que é caracterizado por meio de um Estudo de Capacidade de Processo e, a partir daí, melhorado, resultará em produtos mais consistentes. Isto será imediatamente refletido nos resultados da operação.

Para a realização do objetivo geral proposto, o trabalho foi dividido em etapas definidas. A primeira foi a identificação do problema, segundo a decisão de se fazer um estudo de capacidade de processo e a última a solução proposta.

As coletas de dados e os gráficos foram realizadas com ajuda do software de controle estatístico de processo Applied Stats, fornecido pela ASI DataMyte do Brasil. Este software é usado na empresa há muito tempo para o controle estatístico de processo e se mostra muito adequado, pela sua praticidade e segurança na digitação e armazenamento dos dados.

Após o estudo de capacidade pôde-se observar uma melhoria significativa no processo, onde com a aplicação do mesmo identificou-se através dos histogramas e da curva de distribuição normal que o processo agora se situa confortavelmente dentro das especificações e está muito mais próximo do alvo. Esta mudança refletiu positivamente no *rating* da fábrica.

A empresa possui os caminhos necessários para se controlar um processo eficazmente, mas com o trabalho conseguiu-se interpretar melhor os resultados e ajudar na tomada de decisão.

Após a caracterização do processo por meio de Estudos de Capacidade de Processo, a atenção de todos pode ser voltada para o controle dos processos por meio de Cartas de Controle.

GLOSSÁRIO

BRIX	Relação de água e açúcar presentes no refrigerante
RATING	Medida de desempenho entre as fábricas de refrigerante vai de 0 a 100% podendo se avaliados vários itens como: produto, embalagem, aparência entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, Vicente Falconi. *TQC – Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)*. 8ª ed. Nova Lima – MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.
- COSTA, Antônio F. B. et al. *Controle Estatístico de Qualidade*. São Paulo: Atlas, 2004.
- FITERMAN, Mauren, et al. CEP por atributos: uma abordagem de implantação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 24., 2004, Florianópolis. Anais. UFSC, Florianópolis, SC.
- JURAN, J. M. *A qualidade desde o projeto: novos passos para o planejamento da qualidade em produtos e serviços*. Tradução de: Nivaldo Montingelli Jr. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.
- MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade*: Tradução de: Ana Maria Lima de Farias, et al. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004.
- PALADINI, Edson Pacheco. *Gestão da qualidade: teoria e prática*. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.
- PALADINI, Edson Pacheco. *Qualidade total na prática: implantação e avaliação de sistemas de qualidade total*. São Paulo: Atlas, 1997.
- SOARES, Valentina de L. M. de P. *Aplicação e Implantação do Controle Estatístico de Processo em pintura industrial – Dissertação de Mestrado*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- SOARES, M. V. P. P. Gonçalves. *Aplicação do Controle Estatístico de Processos em Indústria de Bebidas: Um Estudo de Caso – Dissertação de Mestrado*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.
- SPAIPA. Manual de Controle Estatístico de Processo. Disponível em: <http://www.intranet.spaipa.com.br>. Acesso em: 20 jul. 2006.
- TECNOÍSO INSTRUMENTAÇÃO E CALIBRAÇÃO. Manual de Calibração. Joinville. 2002.
- WERKEMA, Maria C. C. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte. Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.

**Universidade Estadual de Maringá
Departamento de Informática
Curso de Engenharia de Produção
Av. Colombo 5790, Maringá-PR
CEP 87020-900
Tel: (044) 3261-4324 / 4219 Fax: (044) 3261-5874**