

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**REDUÇÃO DA VARIABILIDADE EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CHAPAS
DE CORPO DE SILOS DE GRAÕS DE CORRUGAÇÃO 4" ATRAVÉS DA
IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO**

PAULO CESAR MAYER

**Porto Alegre,
2004**

Paulo Cesar Mayer

**REDUÇÃO DA VARIABILIDADE EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO DE CHAPAS
DE CORPO DE SILOS DE GRAÕS DE CORRUGAÇÃO 4” ATRAVÉS DA
IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO**

Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado
Profissionalizante em Engenharia como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade
Profissionalizante – Ênfase em Qualidade,
Desenvolvimento de Produto e Processo.

Orientador : Professora Dra. Carla S. ten Caten

Porto Alegre

2004

Este trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof^ª. Carla Schwengber ten Caten, Dra.

Orientador Escola de Engenharia

Prof^ª. Helena Beatriz Bettela Cybis, Dra.

Coordenadora MP/Escola de Engenharia/UFRGS

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Gilberto Cunha

PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Lori Viali

PPGEP/UFRGS

Prof. Dr. Zacarias Martin Chamberlain Pravia

FEAR/UPF

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Walter e Eulália Mayer, a minha esposa Cristine e aos meus filhos Gabriel e Raquel.

AGRADECIMENTOS

A Deus e Jesus Cristo, que me orientam para uma vida melhor e feliz, através do conhecimento e da prática da Sua Palavra e do Evangelho de Cristo.

À minha esposa Cristine, meus filhos Gabriel e Raquel, que me apoiaram durante minha ausência nos momentos em que freqüentei as aulas, ausentando-me de sua presença.

À empresa METASA Indústria Metalúrgica – Unidade de Estruturas de Aço e a empresa GSI Agromarau, que me apoiaram incondicionalmente durante as aulas, financeiramente e liberando-me no horário de expediente para realização deste trabalho.

Aos meus Pais Walter Cândido Mayer e Eulália Barbosa Mayer (in memoriam) que, desde pequeno, me orientaram na busca constante do saber.

À minha colega Janaina Bevervanço, que destinou parte de seu tempo na coleta e processamento de dados necessários para realização deste trabalho.

À minha orientadora professora Carla Schwengber ten Caten e ao Professor Gilberto Cunha, pela contribuição valiosa, sem a qual não seria possível a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Esta dissertação aborda a redução da variabilidade e a redução de perdas da má qualidade em um processo de corrugação de chapas de corpo de silos de grãos, através da utilização do Controle Estatístico do Processo (CEP). Foram analisadas e monitoradas as principais características e variáveis que influenciam o processo produtivo. Também foi proposto o uso de um item de controle igualmente chamado indicador de desempenho para permitir acompanhamento das perdas da má qualidade no mesmo processo, no Departamento de Produção, Setor Estamparia, da empresa GSI Group - Agromarau Indústria e Comércio Ltda. A dissertação apresenta uma revisão da literatura abordando assunto sobre qualidade, custos da qualidade, indicadores de desempenho e Controle Estatístico do Processo. As ações de, monitoramento do processo, evolução de sistema de inspeção de produto para sistema de aprendizagem com o processo, medição das perdas da qualidade, ação imediata sobre causas especiais e treinamento de operadores, analistas da qualidade e chefias, proporcionaram a redução da variabilidade e a redução das perdas da má qualidade, através da implantação do CEP.

Palavras chaves: CEP, Corrugação, Silos de Grãos, Chapas de Corpo, Perdas da Qualidade e Indicadores de Desempenho

ABSTRACT

This dissertation focus on procedures to avoid the quality loss and to foster the variability decrease in a corrugation process of sidewalls of grain silos, by using the Statistical Process Control. The main characteristics and variables that affect the production process were analysed and monitored. The employment of a performance indicator was also suggested in order to allow evaluating quality loss in the same process. These analyses took place in the Stamping Sector of the Productions Department at GSI Group – Agromarau Indústria e Comércio Ltda. The thesis presents a review on the literature addressing subjects as quality management, quality loss, performance indicators and Statistical Process Control. Decrease of quality loss and variability can be reached through SPC and the following actions: process monitoring, developing the inspections system of product towards learning system with the process, quantifying quality loss, acting immediately on special causes, and training the operators, quality inspectors and supervisors.

Key words: SPC, Corrugation, Silos, Sidewall, Quality Loss and Performance Indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Exemplo ilustrado de processo -----	p 20
Figura 2: Exemplo de carta de controle para as médias-----	p 28
Figura 3: Percentuais associados à faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ da média de uma distribuição normal com média 28,4 e $\sigma = 0,20$ -----	p 30
Figura 4: Fluxograma de apoio para escolha das cartas de controle-----	p 32
Figura 5 :Exemplo ilustrado do processo e os 6ms da manufatura-----	p 37
Figura 6. Exemplo de distribuição aleatória das Médias e os Limites de controle-----	p 39
Figura 7: Periodicidade -----	p 40
Figura 8:Seqüência -----	p 41
Figura 9: Tendência -----	p 42
Figura 10: Proximidade dos limites de controle -----	p 42
Figura 11: Proximidade da linha central-----	p 43
Figura 12: Processo capaz e não capaz dependendo da especificação-----	p 45
Figura 13: Histogramas e limites de especificação-----	p 47
Figura 14: Exemplo de processo capaz e não capaz -----	p 49
Figura 15: Comparação das magnitudes de Cp e Cpk -----	p 51
Figura 16: Procedimento iterativo de melhoria -----	p 52
Figura 17: Fluxograma do processo de produção e chapas de corpo corrugadas 4” -----	p 58
Figura 18: Fotos dos principais processos de produção de chapas corrugadas-----	p 59
Figura 19: Laudo de calibração da trena GTR 01 -----	p 67
Figura 20: Análise do sistema de medição para o processo de produção de chapas corrugadas 2,70 x 1157 x 2934 mm -----	p 68

Figura 21: Carta de controle das médias – Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm sem bordas refileadas -----	p 76
Figura 22: Carta de controle das amplitudes – Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm -----	p 76
Figura 23: Carta de controle das médias – Largura das chapas corrugadas com bobinas sem bordas refileadas -----	p 77
Figura 24: Carta de controle das amplitudes – Largura das chapas corrugadas com Bobinas sem bordas refileadas -----	p 78
Figura 25: Carta de controle das médias – Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm com bordas refileadas -----	p 80
Figura 26: Carta de controle das amplitudes – Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm com bordas refileadas -----	p 81
Figura 27: Carta de controle das médias – Largura das chapas corrugadas de bobinas com bordas refileadas -----	p 82
Figura 28: Carta de controle das amplitudes – Largura das chapas corrugadas de bobinas com bordas refileadas-----	p 82
Figura 29: Diagrama de coluna simples da largura de chapas corrugadas com bobinas não refileadas-----	p 84
Figura 30: Gráfico da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas não refileadas -----	p 84
Figura 31: Análise da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas não refileadas -----	p 85
Figura 32: Diagrama de coluna simples da largura das chapas corrugadas com bobinas refileadas -----	p 86
Figura 33: Gráfico da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas refileadas -----	p 86
Figura 34: Análise da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas refileadas -----	p 87
Figura 35 :Item de controle refugio de chapas corrugadas 2,70 mm ano 2003-----	p 88
Figura 36: Item de controle refugio de chapas corrugadas 2,70 mm ano de 2004 -----	p 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Exemplo de indicadores de desempenho-----	p 21
Tabela 2:Fórmula de indicadores de desempenho -----	p 22
Tabela 3:As cartas de controle, definições e objetivos-----	p 29
Tabela 4:Fórmulas, definições e constantes estatísticas do CEP-----	p 33
Tabela 5:Diferenças entre causas comuns e causas especiais-----	p 39
Tabela 6:Características da qualidade especificadas e desejadas para chapas corrugadas---	p 62
Tabela 7:Postos de controle -----	p 63
Tabela 8:Postos de controle, filtros, especificações, tipo de dado,tipo de alvo e tipo de Carta-----	p 64
Tabela 9:Medidas encontradas pelos operadores para análise do sistema de medição-----	p 66
Tabela 10:Plano de ação da implantação do CEP no Setor Estamparia -----	p 69
Tabela 11:Limites de controle para as cartas de controle das médias e das amplitudes das bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm sem bordas refileadas-----	p 75
Tabela 12:Limites de controle para as cartas das médias e das amplitudes das chapas corrugadas de bobinas sem bordas refileadas-----	p 77
Tabela 13:Demonstrativo de perdas de chapas devido à calibração da corrugadeira -----	p 79
Tabela 14:Limites de controle para as cartas de controle das médias e das amplitudes das bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 com bordas refileadas-----	p 80
Tabela 15: Limites de controle para as cartas das médias e das amplitudes das chapas corrugadas de bobinas com bordas refileadas-----	p 81
Tabela 16: Tabela das perdas de chapas devido à calibração da corrugadeira depois da redução da variabilidade-----	p 91

SUMÁRIO

1 COMENTÁRIOS INICIAIS-----	p 12
1.1 Introdução-----	p 12
1.2 Tema e Objetivos-----	p 13
1.3 Justificativa do tema e objetivos-----	p 14
1.4 Método de trabalho-----	p 15
1.5 Estrutura-----	p 16
1.6 Delimitações-----	p 16
2 REVISÃO DA LITERATURA-----	p 17
2.1 Gerenciamento pela qualidade-----	p 17
2.2 Melhoria da qualidade e custos da qualidade-----	p 18
2.3 Indicadores de desempenho ou item de controle-----	p 19
2.4 Estabilização de processos -----	p 23
2.5 Controle estatístico do processo (CEP) -----	p 24
2.5.1 Introdução -----	p 24
2.5.2 Definições de controle estatístico do processo-----	p 26
2.5.3 Objetivos do controle estatístico do processo -----	p 27
2.5.4 As cartas de controle ou gráficos de controle -----	p 27
2.5.5 Sistema de controle do processo-----	p 36
2.5.5.1 Processo de Si -----	p 36
2.5.5.2 Informações sobre o processo-----	p 37
2.5.5.3 Ações sobre o processo-----	p 38
2.5.5.4 Ações sobre o produto final-----	p 38
2.5.6 Variabilidade e as causas comuns e especiais-----	p 38
2.5.7 Análise de cartas de controle -----	p 39
2.5.8 Análise de estabilidade do processo-----	p 40
2.5.9 Subgrupos racionais -----	p 43
2.5.10 Capacidade do processo-----	p 44
2.5.11 Processo iterativo de melhoria-----	p 51
2.5.12 Análise do sistema de medição -----	p 52

3	PLANEJAMENTO DA IMPLANTAÇÃO-----	p 56
3.1	Processo de corrugação de chapas de corpo para silos de grãos da linha de corrugação 4”-----	p 56
3.1.1	Desbobinamento-----	p 60
3.1.2	Corrugação-----	p 60
3.1.3	Corte de bobina corrugada em chapas-----	p 60
3.1.4	Furação-----	p 60
3.1.5	Calandragem-----	p 60
3.1.6	Armazenagem-----	p 61
3.1.7	Sistema de inspeção-----	p 61
3.2	Identificação das características da qualidade-----	p 62
3.2.1	Identificação dos postos de controle e características da qualidade a serem monitoradas em cada posto-----	p 63
3.2.2	Definição dos critérios de classificação dos produtos (filtros)-----	p 63
3.2.3	Descrição das características do processo-----	p 63
3.2.4	Definição do procedimento de coleta de dados-----	p 64
3.2.5	Avaliação do sistema de medição-----	p 65
3.2.6	Definição de responsabilidades-----	p 69
3.2.7	Definição da documentação necessária-----	p 71
3.2.8	Treinamento em CEP-----	p 71
4	IMPLANTAÇÃO E RESULTADOS-----	p 73
4.1	Implantação-----	p 73
4.2	Estudos de estabilidade e capacidade-----	p 74
4.2.1	Análise de estabilidade-----	p 75
4.2.1.1	Posto de Controle 1- Antes do Refilamento das Bobinas-----	p 75
4.2.1.2	Posto de Controle 2- Antes do Refilamento das Bobinas-----	p 77
4.2.1.3	Posto de Controle 1- Depois do Refilamento das Bobinas-----	p 79
4.2.1.4	Posto de Controle 2- Depois do Refilamento das Bobinas-----	p 81
4.2.2	Análise da capacidade-----	p 83
4.2.2.1	Cálculo da Capacidade do Processo de Produção de Chapas Corrugadas com Bobinas sem Bordas Refiladas-----	p 84
4.2.2.2	Cálculo da Capacidade do Processo de Produção de Chapas Corrugadas com Bobinas sem Bordas Refiladas-----	p 85
4.3	Definição de Indicador de Desempenho para o Processo-----	p 87
4.4	Resultados da implantação-----	p 89
4.4.1	Redução da Variabilidade e Melhoria da Capacidade-----	p 90
4.4.2	Ganhos financeiros-----	p 90
4.4.3	Outros ganhos-----	p 91
5	COMENTÁRIOS FINAIS-----	p 93
5.1	Conclusões-----	p 93
	REFERÊNCIAS-----	p 95

1 COMENTÁRIOS INICIAIS

1.1 Introdução

Armazenagem é a atividade de guarda e conservação de grãos, em condições inalteradas de quantidade e qualidade (WEBER, 2001). Para alguns cientistas e historiadores, a armazenagem é um marco da história do homem, pois quando ela surgiu, cessou a necessidade de divagar pela Terra em busca de alimentos, como faziam os grupamentos nômades de pessoas. Assim, o homem começou a cultivar a terra, surgindo então aldeias e a necessidade de guardar os alimentos. Começou então a surgir um problema: a capacidade de produção maior que a capacidade de armazenagem, problema este chamado, *déficit* de armazenagem, que é a diferença entre a produção de grãos e a capacidade de armazenagem, em que, há mais capacidade de produção de grãos do que de armazenagem (WEBER, 2001).

A capacidade de produção de grãos no Brasil, safra 2003/2004, foi de 130,83 milhões de toneladas, enquanto que a capacidade de armazenagem, nas zonas urbana, rural, fazendas e portos é de 94,08 milhões, existe um déficit de 36,75 milhões de toneladas, 28,08% (CAIXETA, 2004).

Uma causa desta defasagem é a pouquíssima existência de silos em propriedades rurais. Utiliza-se muito o sistema de cooperativas agrícolas para a armazenagem e beneficiamento, sendo que estas têm grande capacidade de armazenagem, recebendo grãos após a colheita. No Brasil, apenas 9% das propriedades rurais (fazendas) possuem silos armazenadores (CAIXETA, 2004).

Com silos presentes nas propriedades, os agricultores podem armazenar e vender os grãos mediante o favorecimento do mercado. Esta é a tendência da agricultura de grãos no Brasil para os próximos anos, armazenagem na própria propriedade, tornando-se um ótimo negócio para os fabricantes de silos, equipamentos de movimentação e secagem de grãos (WEBER, 2001). Milhares de municípios do Brasil têm na agricultura sua atividade econômica principal, e o Brasil, com certeza, será o “ celeiro mundial “ (WEBER, 2001).

Europa, Estados Unidos e Rússia, não têm mais capacidade de aumentar significativamente suas áreas de plantio. As áreas de agricultura estão tomadas. Somente

Argentina, Brasil e alguns locais da Austrália e África podem aumentar a área plantada, isto reforça a tendência de o mundo inteiro depender do Brasil na área de produção de alimentos (WEBER, 2001)

Segundo Weber (2001), pode-se classificar armazenagem quanto ao tipo de edificação:

Armazéns Graneleiros: Inicialmente muito limitados em seu uso, sem termometria e aeração. Ainda são construídos, porém em menor frequência, mas dotados de sistemas de termometria, mantendo os grãos em boas condições por longos períodos de tempo.

Silos de Concreto: Edificações de concreto, cilíndricas e verticais economizavam espaço. Apesar do custo elevado, tinha-se um forte argumento de hermeticidade e capacidade de armazenagem por 3 ou mais anos.

Silos Metálicos: Nas décadas de 50 e 60, quando recebidos dos Estados Unidos da América, por falta de orientação, uso adequado e falta de acessórios, como carga e descarga, por exemplo, não apresentaram resultados satisfatórios e ficaram desacreditados. Vencidas as resistências naturais, melhor disseminação, orientação e produção de acessórios, os silos metálicos hoje são produzidos em larga escala, sendo o sistema preferido em pequenas, médias e grandes propriedades.

Segundo Weber (2001), com o *déficit* de armazenagem e a capacidade de aumento de áreas de plantio, o Brasil, que já é um dos grandes produtores mundiais de grãos, poderá tornar-se líder em culturas como soja, trigo e milho. Este crescimento também permitirá o desenvolvimento e o aumento do volume de produção para mercado nacional e internacional de silos e acessórios de silos, caracterizando-se como um ótimo negócio.

1.2 Tema e objetivos

Esta dissertação aborda o estudo da variabilidade e perdas da má qualidade no processo de produção de chapas corrugadas de silos de grãos de corrugação 4" (distância entre cristas das ondas nas chapas corrugadas).

O objetivo principal deste trabalho é introduzir um procedimento de controle da qualidade, baseado na redução da variabilidade do processo de produção de chapas corrugadas

da linha de silos de grãos, de corrugação 4”, da empresa americana Grain System Incorporated (GSI), na Fábrica do Brasil, chamada Agromarau Indústria e Comércio Ltda.

Como objetivo secundário, tem-se redução de perdas ocorridas da má qualidade no mesmo processo.

1.3 Justificativa do tema e objetivo

Este trabalho justifica-se pela contribuição para a melhoria da qualidade com redução das perdas internas (falta de produtividade, má qualidade, falta de controle, refugos e sucata) e externas (garantia, assistência técnica, gastos extras de montagem e reclamações de clientes). A má qualidade gera outras perdas, como as perdas financeiras, perdas de vendas, insatisfação de clientes, bem como afetam a imagem da Empresa no mercado.

A justificativa principal é a necessidade que a empresa tem de melhorar a qualidade, reduzindo a variabilidade que ocorre na linha de produção de silos de grãos de corrugação 4”.

A justificativa secundária é a necessidade de reduzir perdas da má qualidade no mesmo processo de produção.

A redução da variabilidade e das perdas da má qualidade contribuem para a redução de custos e o aumento da competitividade, bem como contribui para manter e melhorar a imagem da empresa no mercado. A GSI Agromarau é conhecida por produzir silos de armazenagem de melhor qualidade e tecnologia no Brasil e América do Sul. Para isso, é necessário produzir chapas corrugadas com qualidade, processo com menos perdas internas e externas. O mercado de produção de silos para armazenagem de grãos é competitivo, pois há empresas grandes, médias e pequenas, sendo que todas podem participar de concorrências para venda de silos para cooperativas, produtores de sementes e pequenos produtores de grãos. Os silos armazenadores GSI Agromarau têm qualidade superior, maior tecnologia e são mais caros que os silos dos concorrentes, logo, a qualidade superior é um argumento de venda. Como em silos armazenador e silos secadores as chapas corrugadas do corpo do silo contribuem em média com 60 % do peso dos silos, a redução da variabilidade, a melhoria da qualidade e a redução das perdas da má qualidade, contribuem para manter e melhorar a imagem da Empresa no mercado, aumentando a competitividade.

1.4 Método de trabalho

Há diversas formas de se classificar uma pesquisa, e esta dissertação tem por característica ser uma pesquisa aplicada, pois a ferramenta em questão, o Controle Estatístico do Processo, que tem por objetivo permitir análise e redução de variabilidade, foi aplicado em uma linha de produção de chapas corrugadas de silos de grãos.

Como os dados utilizados são do processo produtivo da Empresa, a abordagem do problema será quantitativa.

Quanto ao objetivo desta pesquisa, se caracteriza por ser exploratória, pois desta maneira o problema torna-se explícito. Assim sendo, o método se enquadra na categoria de Pesquisa-Ação.

Este trabalho inicia com a revisão da literatura sobre o tema para se obter fundamentação teórica, proveniente de livros, revistas e artigos científicos, de forma a discutir o assunto sobre o ponto de vista de vários autores.

Ribeiro e Caten (2001), desenvolveram uma proposta de implementação de CEP, contendo 2 etapas:

- a) Identificação de processos críticos através do Desdobramento da Função qualidade (QFD);
- b) Aplicação do controle estatístico do processo nos processos críticos.

Neste trabalho, devido à importância do produto silos de grãos no desenvolvimento e faturamento da empresa, devido ao processo de corrugação ser muito importante na produção de silos de grãos e as características da qualidade serem conhecidas devido à especificação pelo Departamento Engenharia, optou-se por não utilizar a primeira etapa da proposta de Ribeiro e Caten (2001). Para esclarecimento, chapas corrugadas correspondem em média a 60% do peso total de um silo de grãos.

Após a coleta de dados, durante a implementação, parte-se para a elaboração de ações de melhoria no processo de corrugação das chapas e implementação de itens de controle sistemáticos relativos ao processo, para proporcionarem conclusões científicas e acompanhamento mensal do desempenho do processo.

Tendo como base os dados coletados e a aplicação teórica, chegar-se-á a conclusões relativas à implementação do CEP, esclarecendo sobre os resultados obtidos.

1.5 Estrutura

Os assuntos estão ordenados sistematicamente e estruturados de maneira que sejam compreendidos, facilitando o entendimento dos objetivos a que se propõe.

Uma visão geral do trabalho, possibilitando ao leitor o conhecimento do tema, os objetivos, justificativas, limitações de sua elaboração, método de trabalho, estrutura e delimitações, são apresentados no primeiro capítulo.

O segundo capítulo, a revisão bibliográfica apresenta ao leitor conhecer os objetivos, fundamentos e conceitos, segundo vários autores, sobre Controle Estatístico da Qualidade, CEP, gerenciamento da qualidade, melhoria contínua e indicadores de desempenho.

No terceiro capítulo, apresenta-se o planejamento da implantação do CEP.

No quarto capítulo, apresentam-se a implantação e os resultados obtidos.

No quinto capítulo, apresentam-se as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

1.6 Delimitações

O estudo limita-se ao conhecimento da estabilidade e capacidade de processo em uma indústria metalúrgica do ramo Agroindustrial, no Setor de Estamparia, no processo conformação em chapas de corpo ZAR (Zincagem de Alta Resistência) 345, de espessura 2,70 mm, de silos de grãos de corrugação 4”.

Desta maneira, os resultados não significam que poderão ser aplicados ou que serão válidos em outras organizações, nem para as outras espessuras de chapas na mesma empresa.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Gerenciamento pela qualidade

O gerenciamento pela qualidade ou gerenciamento pela qualidade total é uma filosofia de trabalho que tem por objetivo melhorar continuamente a qualidade e a produtividade, em toda a organização através, em todos os processo, do topo ao nível de operador, utilizando todos os recursos disponíveis (BROCKA e BROCKA, 1995).

Segundo Brocka e Brocka (1995), outras definições sobre gerenciamento da qualidade podem ser aceitas:

- a) “ Uma metodologia de solução de problemas e aperfeiçoamento dos processos sobre toda a empresa. “
- b) “ Um sistema de meios para economicamente produzir bens ou serviços que satisfaçam as necessidades dos clientes. “
- c) “ Melhorias sistemáticas e contínuas na qualidade de produtos, serviços e na vida das pessoas, utilizando todos os recursos humanos e financeiros disponíveis “.

As mudanças rápidas no mundo, a globalização que trouxe o desafio da competitividade, consumidores mais exigentes, mudanças sociais, culturais, tecnológicas e econômicas, todas juntas provocaram a necessidade da mudança mental de empresários e trabalhadores do Brasil a partir da abertura de mercado, promovida pelo então Presidente Fernando Collor de Mello. A partir de 1987, quando se apresentou uma das primeiras reportagens sobre qualidade total na revista Exame, Governo e empresários perceberam o resultado que as empresas tiveram quando investiram seus lucros em bancos, ganhando com juros em vez de atualização tecnológica, treinamento e estruturação de suas empresas. A falta de investimento das organizações resultou no atraso tecnológico, fábricas sucataadas sem qualificação e conseqüentemente, produção de bens e serviços de qualidade inferior.

As empresas brasileiras perderam competitividade interna e no mercado internacional, e em conseqüência sua sobrevivência ficou afetada (CAMPOS, 1992).

Segundo Campos (1992), competitividade é alcançada produzindo com qualidade e

produtividade, sendo que o grande objetivo das organizações deve ser atender as necessidades da pessoas, na luta pela sobrevivência. Um produto com qualidade é aquele que atende perfeitamente, de forma confiável, acessível, segura e no tempo certo as necessidades do Clientes.

Uma das mais modernas definições para qualidade é encontrada nas palavras de Montgomery, segundo ele qualidade é a redução da variabilidade (MONTGOMERY, 2001).

Segundo Juran e Godfrey (1998), de muitos significados sobre qualidade, dois são críticos para o gerenciamento da qualidade:

- 1) Qualidade é o atendimento das características de produto que vão de encontro às necessidades dos consumidores e que devem prover satisfação dos mesmos.
- 2) Qualidade significa produtos e serviços livres de deficiências. Livre de deficiências significam livres de erros, defeitos, retrabalho, falhas, livre de reclamações de consumidores, livres de insatisfações.

O gerenciamento da qualidade é composto de três processos: Planejamento da Qualidade, Controle da Qualidade e Melhoria da Qualidade (JURAN e GODFREY, 1998).

Em um mundo globalizado, a competitividade é um fator vital pois não existem mais fronteiras comerciais, compra-se e vende-se com facilidade nunca antes experimentada. Os mais competitivos sobreviverão, desde que enfatizarem seus processos para ganhos da qualidade e produtividade. A produtividade é aumentada pela melhoria da qualidade, este deve ser o objetivo das organizações (DEMING, 1998).

2.2 Melhoria da qualidade e Custos da Qualidade

Melhoria da qualidade é um dos processos do gerenciamento da qualidade (JURAN e GODFREY, 1998).

Segundo Juran e Godfrey (1998), melhoria significa a criação organizada dos benefícios da mudança, atingimento não precedente de níveis de desempenho.

Alguns autores também referenciam melhoria da qualidade como melhoria contínua, sendo também chamada de *kaysen*.

Segundo Brocka e Brocka (1995), não se pode aumentar a qualidade com o aumento do custo, reduzindo a produtividade, é a antítese do gerenciamento da qualidade. Para reduzir custos e aumentar a produtividade, deve-se focar o processo. Precisa-se melhorar o processo reduzindo ou eliminando variações, aumentando a uniformidade dos produtos. Com isto, tem-se redução de custos, devido à redução de perdas da má qualidade. A melhoria da qualidade deve ser tarefa de todos os empregados e fazer parte da função de cada um. A busca da melhoria deve ser contínua, ou seja, nunca se deve parar este processo. Melhoria da qualidade deve ser um dos elementos primários do gerenciamento da qualidade.

A medição dos custos da má qualidade têm sido enfatizada desde a década de 50. Muitas empresas dizem dar grande importância para a qualidade, mas poucas medem realmente os resultados dos programas da qualidade. Estas medem custos visíveis e quantificáveis, tais como, refugos, sucatas e garantias. As perdas, devido a insatisfação de clientes e de vendas, são ignoradas. Custo da qualidade é a quantidade de dinheiro que uma organização gasta para prevenir a má qualidade e garantir que os requisitos da qualidade sejam alcançados. Portanto, custos da qualidade envolvem custo de prevenção, custo de avaliação, custo de falhas internas e custos de externas (ROTANDARO, 2002).

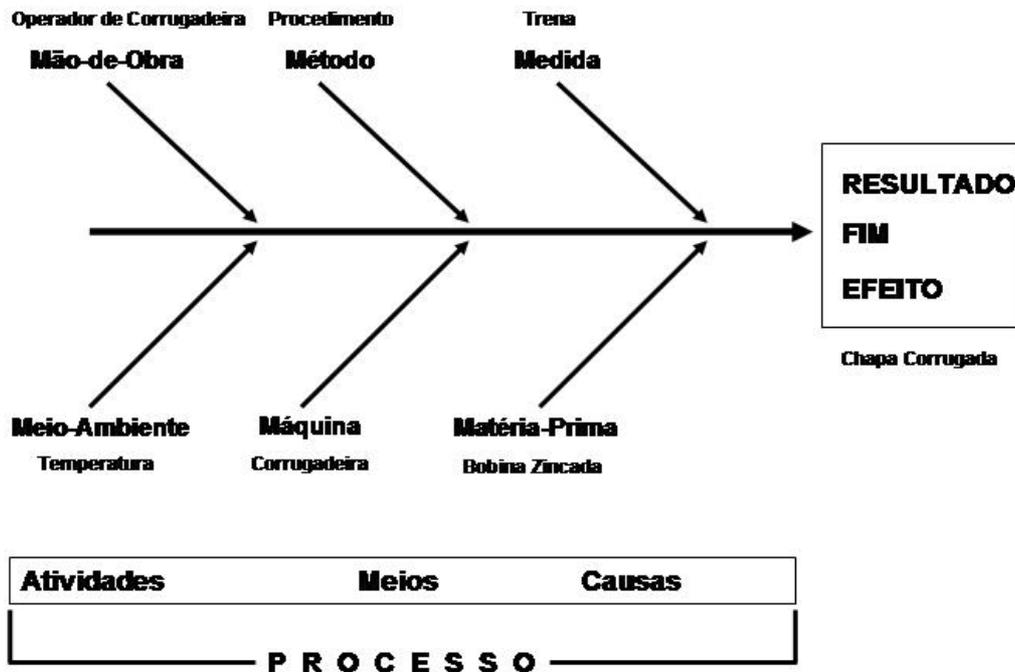
2.3 Indicadores de desempenho ou itens de controle

Antes de se definir indicador de desempenho ou item de controle é preciso entender o significado de processo.

Segundo Campos (1992), o controle do processo é a assência do gerenciamento em todos os níveis da organização. Para entender os processos é preciso ter consciência do relacionamento de causa e efeito nas atividades da organização. Processo é um conjunto de atividades relacionadas entre si, que produzem um ou mais resultados, Figura 1. O processo deve ser controlado para que os efeitos, ou seja, resultados, sejam os esperados e planejados. Os processos precisam ser controlados através de suas causas. Para isso devem-se estabelecer itens de controle de um processo. O gerenciamento somente pode ser executado se for medido.

Segundo Dellaretti (1994), os processo repetitivos da empresa caracterizam a rotina diária, e esta deve ser monitorada por itens de controle. Os itens de controle servem para medir

o desempenho dos processos rotineiros da organização. Este processo de gerenciamento chama-se gerenciamento da rotina do dia-a-dia. Processo é um conjunto de causas que têm como objetivo, produzir um determinado efeito, que denomina-se produto do processo.



Fonte: Adaptado de: Campos, 1992, pág 18

Figura 1. Exemplo ilustrado de processo

De acordo com Campos (1992), “ itens de controle de um processo são índices numéricos estabelecidos sobre os efeitos de cada processo para medir sua qualidade total. “.

Item de controle também pode ser definido como uma expressão quantificada referente a um processo, é também chamado de indicador de desempenho.

O maior expoente do gerenciamento pela qualidade do Japão, Kaoru Ishikawa, criador do Diagrama de Ishikawa, Diagrama da Espinha de Peixe, Diagrama de Causa e Efeito, cita que: “ Se você não tem item de controle, você não gerencia. “.

Para facilitar o entendimento de item de controle ou indicador de desempenho, na Tabela 1, pode-se ver alguns indicadores utilizados no mundo.

Tabela 1. Exemplo de indicadores de desempenho (Fonte: Revista Banas Qualidade, 2001)

INDICADOR	BRASIL 1993	BRASIL 1996	BRASIL 2000	MÉDIA MUNDIAL	JAPÃO
Investimento em P & D	1 a 2%	1,45%	5%	3 a 5%	8 a 12%
Índice de Rejeição	11 a 15 ppm mil	20 ppm mil	18 ppm mil	200 ppm	10 ppm
Retrabalho Interno	12 a 20%	3,7%	2,3%	2%	0,001%
Gastos c/ Ass. Téc.	2%	0,98%	0,8%	0,1%	<0,05%
Quebra de Máquinas	21%	6,6%	10%	15 a 20%	5 a 8%
Setup de Produção	30 a 40'	100'	73'	10'	5'
Giro de Estoque	8 a 14x ano	13x ano	24x ano	60 a 70x ano	150 a 200x
Kaysen	1 a 2%	2,5%	24%	50 a 70%	95%
Dedicação à Educ. e Treinamento	<1%	1,59%	3,0%	5 a 7%	10%
Investim. em Educ. e Treinam. x Fatur.	<1%	0,6%	1,5%	3 a 5%	5 a 7%
Lead-Time	20 dias	19 dias	nd	2 a 4 dias	2 dias

ATIVIDADE ECONÔMICA DAS EMPRESAS BRASILEIRAS PESQUISADAS

Máquinas e Equipam.	23,3%	Metalurgia	21,8%
Automotivo e AutoPeças	12,2%	Eletroeletrônica	10,8%
Química	7,1%	Confecção	5,9%
Plásticos	5,0%	Calçados	3,5%
Móveis	2,0%	Alimentício	1,5%
Embalagens	1,1%	Higiene Limpeza	1,1%
Têxtil	1,1%	Cerâmica	1,1%
Siderurgia	0,8%	Gráfica	0,7%
Papel e Celulose	0,7%	Telecomunicações	0,3%

Legenda: nd = não disponível
Média Mundial = Europa e Estados Unidos da América

É muito importante a definição correta das fórmulas para os indicadores de desempenho. Para isso se podem ver exemplos de fórmulas na Tabela 2.

Tabela 2. Fórmulas de indicadores de desempenho (Fonte: Site da Associação do Aço do RS, 1999 - www.aars.com.br)

Indicador	Objetivo	Fórmula	Unid.Medida
Índice de Rejeição de Ítens de Fornecedor/Mês	Avaliação do Grau de Qualidade dos Ítens Fornecidos.	$\frac{\text{Número de Ítens ou Peso Rejeitado.}}{\text{Número de Ítens ou Peso Recebido.}}$	%
Número de Reclamações de Cliente.	Avaliação do Desempenho dos Produtos na Visão do Cliente.	$\frac{\text{Número de Reclamações Recebidas.}}{\text{Número de Produtos Faturados.}}$	%
Índice de Desperdício (Peso)	Avaliação do Número ou Peso do Material Sucateado Durante o Processo Produtivo.	$\frac{\text{Total Desperdiçado (Peso)}}{\text{Total Consumido (Peso)}}$	%
Número Total de Horas de Treinamento por Funcionário.	Avaliação do Número de Horas de Treinamento Dado a Cada Funcionário em Determinado Período.	$\frac{\text{Número de Horas Treinamento no Período} \times \text{Número de Funcionários Treinados}}{\text{Número Médio de Funcionários no Período.}}$	Horas por Funcionários.
Turn-Over	Avaliar o Grau de Rotatividade no Período.	$\frac{\text{Número Total de Funcionários que Saíram com Reposição}}{\text{Número Médio de Funcionários no Período.}}$	%
Satisfação do Cliente.	Avaliar a Satisfação do Cliente.	Índice de 0 A 100, Percentual Obtido em Pesquisa Junto ao Cliente.	%
Giros de Inventário por Ano.	Avaliar o Número de Vezes que o Estoque Roda por Ano.	$\frac{\text{Valor Líquido das Vendas}}{\text{Valor Líquido Médio do Estoque.}}$	Veze

2.4 Estabilização de processos

As empresas que realmente estão preocupadas em manter-se no mercado, estão conscientes de que a qualidade é fundamental e não mais uma vantagem competitiva. A qualidade de produtos e serviços gera confiabilidade, redução de perdas e preserva a marca.

Ações de melhoria da qualidade de produtos, processo e serviços contribuem diretamente para a redução de perdas. Estas perdas acontecem por garantia, retrabalho, sucata, defeituosos, inspeção em massa e assistência técnica (MONTGOMERY, 2001).

O Controle Estatístico do Processo transforma o entendimento do controle da qualidade, deixando o pensamento da aceitação e rejeição, do conforme e não conforme, focado no produto, para o conhecimento do processo. Estabilidade e Capacidade são os termos dessa nova filosofia do controle da qualidade. Somente inspeção não gera conhecimento, o acompanhamento do processo e seu estudo permitem dizer que, através do CEP aprende-se sobre o processo, para estabilizá-lo e/ou melhorá-lo.

Através do CEP, após o estudo de estabilidade e capacidade, o processo sendo capaz, pode-se diminuir a necessidade de realização de inspeções e até eliminar a inspeção tradicional aprova-reprova.

Segundo Deming (1998), tudo é variável, nada é perfeitamente estável, nos processos industriais e na natureza a variabilidade é uma certeza. Os processos variam, devido a causas comuns, naturais do processo e causas especiais. O conhecimento destas causas determina o controle da variabilidade, as ações sobre as causas comuns tornam os processos mais estáveis, e as ações sobre as causas especiais tornam o processo sob controle. O estudo da variabilidade é imprescindível, pois é necessário um processo estável para estudar a sua capacidade. Segundo Werkema (1996), a variabilidade é o resultado de alterações nas condições sob as quais as observações são tomadas. Estas alterações podem refletir diferenças entre as matérias-primas, as condições dos equipamentos, os métodos de trabalho, as condições ambientais e os Operadores envolvidos no processo considerado.

O que permite o estudo da estabilidade e capacidade no CEP é a estatística, disciplina fundamental no controle da qualidade moderno. Cada vez mais os métodos estatísticos estão sendo utilizados, se reduzindo o sistema de inspeção 100% ou inspeção em massa, criando na

década de 30. Hoje, existe o 6 Sigma, que é uma das ferramentas de melhoria da qualidade, fundamentada em estatística, sendo muito usada nas grandes organizações, que objetivam níveis de qualidade de Classe Mundial, se alcançando índices de conformidade de 99,99% e medindo em dezenas os defeitos de peças por milhão

Para Montgomery (2001), é impossível a inspeção da qualidade em todos os produtos; o produto deve ser fabricado sem retrabalho. Isso implica que todos os indivíduos envolvidos com o processo (incluindo Operadores, engenheiros, pessoas envolvidas com o controle de qualidade e gerenciamento) devem ser continuamente aperfeiçoados para aumentar o desempenho do processo, reduzir a variabilidade dos parâmetros críticos para a qualidade e produtividade e monitorá-los ao longo do tempo. Com isso se obtém um processo estável, ou seja, com características de qualidade que se mantêm ao longo do tempo.

A manufatura deve buscar constantemente a estabilização dos processos, reduzindo a variabilidade e, conseqüentemente melhorando a qualidade. As ferramentas da qualidade são utilizadas para coletar, processar e dispor as informações necessárias ao giro dos ciclos PDCA para manter e melhorar resultados (WERKEMA, 1995).

Segundo Werkema (1995), para que seja possível controlar um processo, a primeira tarefa consiste na identificação de seus clientes, os quais deverão ter suas necessidades satisfeitas. Após a identificação dos clientes, o próximo passo será a identificação dos produtos que lhe serão entregues. Para tanto deverão ser estabelecidas características da qualidade deste produto. Para a garantia desta satisfação do cliente, será necessário transformar estas características em grandezas mensuráveis, denominadas itens de controle.

2.5 Controle estatístico do processo (CEP)

2.5.1 Introdução

A história do Controle da Qualidade se funde com a própria história da indústria. Durante a Revolução Industrial, a qualidade era controlada através da inspeção final e em massa, ou seja, inspecionavam-se todos os produtos após a fabricação. Este tipo de inspeção apenas separava os itens conformes de não conformes. Mas, com o desenvolvimento das indústrias e o crescimento da demanda, este tipo de inspeção tornou-se inviável

economicamente e também demandava muito tempo perdido, além disso, este tipo de inspeção não gerava conhecimento, não melhorava a qualidade, pois os itens não conformes eram apenas retrabalhados ou sucateados. As empresas tinham o desafio de utilizar informações da inspeção para melhorar a qualidade. Para responder a esta indagação, precisou-se recorrer à Estatística e começaram estudos sobre variabilidade dos processos. Percebeu-se que, para aprovar ou reprovar uma quantidade de produtos, não era necessário inspecionar 100% dos itens mas sim uma parte (amostra) que tivesse uma representatividade e uma confiabilidade estatística. No Bell Telephone Laboratories, Walter Andrew Shewart (1891 – 1967) desenvolveu uma carta estatística para controle da variabilidade de processos. Começou aí o Controle Estatístico do Processo, sendo Shewart, o Pai do Controle Estatístico do Processo (MONTGOMERY, 1999).

Segundo Reis (2001), o controle estatístico da qualidade (formado por controle estatístico do processo, estudo de capacidade, inspeção por amostragem e planejamento de experimentos) é usado inadequadamente em muitas organizações, apesar de difundido em instituições de ensino e de treinamento. Estas ferramentas são muito importantes para obtenção, manutenção e melhoria da qualidade de produtos e serviços.

“ Dessa forma, enquanto os conceitos tais como os círculos da qualidade e os 14 pontos de Deming foram amplamente aceitos e utilizados, os aspectos estatísticos do gerenciamento da qualidade continuaram sendo os componentes negligenciados (OGRAJENSEK e THYREGOD, 2004) “.

“ Segundo Ograjensek e Thyregod (2004), há duas razões para essa situação: dificuldades de medição e falta de instrução quantitativa dos funcionários. Dos dois problemas, a falta de conhecimento é, sem dúvida, o mais difícil de ser superado. O conhecimento quantitativo não inclui apenas a instrução estatística (capacidade de selecionar, utilizar e interpretar os resultados de métodos estatísticos adequados para resolver um problema), mas também o conhecimento da informática (habilidade para utilizar o software estatístico adequado para resolver um determinado problema) e o conhecimento de Internet (capacidade de encontrar e acessar os dados e informações on-line). Os exemplos europeus de problemas causados pela falta de conhecimento estatístico são abundantes. As companhias eslavas são deficientes de pessoal com treinamento formal e perícia estatística. Um estudo

interessante sobre o uso de métodos estatísticos em companhias suecas de pequeno e médio porte apresenta evidências claras da má utilização do CEP na manufatura. “

2.5.2 Definições de controle estatístico do processo

Segundo Ribeiro e Caten (2001), o Controle Estatístico do Processo é uma técnica que permite a redução da variabilidade nas características da qualidade, contribuindo para a contínua melhoria da qualidade intrínseca, da produtividade, confiabilidade e redução de custos, daquilo que está se produzindo. Também é um sistema de inspeção por amostragem, ao longo do processo, que tem por objetivo verificar a presença de causas especiais, que são as causas não naturais que podem afetar a qualidade do processo. Identificadas as causas especiais, pode-se atuar sobre elas, melhorando continuamente os processos, reduzindo a variabilidade. O CEP também é uma ferramenta de melhoria, pois conhecendo o processo pode-se remover causas especiais e/ou trabalhar nas causas comuns, reduzindo a variabilidade,

Para Montgomery (2001), o CEP é uma poderosa coleção de ferramentas usadas no alcance da estabilidade dos processos e melhoria da capacidade, através da redução da variabilidade. São 7 as ferramentas mais aplicadas e parte importante do CEP, freqüentemente chamadas de “ as sete magníficas “, em inglês “ Magnificent Seven “, são elas: Histograma, Folha de Verificação, Gráfico de Pareto, Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Dispersão, Estratificação e Gráficos de Controle.

Segundo Oakland (1999), o Controle Estatístico do Processo não é somente um conjunto de ferramentas, é também uma estratégia para a redução da variabilidade, devendo ele ser parte vital de toda a estratégia de uma corporação.

Segundo Fine (1997), uma das tarefas mais críticas do controle estatístico do processo é a identificação das variáveis críticas do processo que definem e garantem a qualidade final do produto.

Analisando os conceitos dos vários autores acima citados, pode-se concluir que o CEP é um ramo do Controle da Qualidade que consiste em coletar, analisar, processar e interpretar dados visando ao conhecimento de processos, bem como a sua melhoria, sejam de produtos ou serviços, através da redução da variabilidade.

2.5.3 Objetivos do controle estatístico do processo

Quanto aos objetivos, segundo Ribeiro e Caten (2001), o CEP possibilita um controle eficaz da qualidade, pelo próprio operador, em tempo real, durante o processo. Desta maneira, o Operador se compromete mais com o trabalho e com a qualidade. Através do CEP, em tempo real, o Operador visualiza o desempenho do processo, sua estabilidade e se ele está sendo mantido dentro dos limites estabelecidos.

Segundo Montgomery (2001), com o CEP pode-se controlar o comportamento de variáveis ao longo do tempo, através da inspeção por amostragem, reduzindo a variabilidade do processo, monitorando e vigiando o processo e estimando os parâmetros dos produtos ou processos. O monitoramento dos processos através de inspeção por amostragem é uma maneira mais barata e despende menos tempo que a inspeção 100%.

Muitos administradores ainda não entenderam que existe algo natural em todo o processo administrativo, a variabilidade e também que o CEP não trata de inspeção e controle de qualidade do Produto. Muito freqüentemente, eles procuram melhorar índices de qualidade através de inspeção. Por pelo menos 40 anos, especialistas afirmaram que não se pode inspecionar qualidade diretamente nos produtos, e que se deve fazer algo mais sobre o processo (DEMING, 1998).

A intenção de uma organização em detectar as mudanças em um processo é que determina freqüência e tamanho da amostra. Para maior confiabilidade estatística o ideal é coletar o maior número possível de amostras e de tamanho grande. Mas grandes amostras exigem custos e tempo, sendo necessário amostras menos freqüentes e de tamanho reduzido, desde que não afetem a confiabilidade dos dados (MONTGOMERY, 2001).

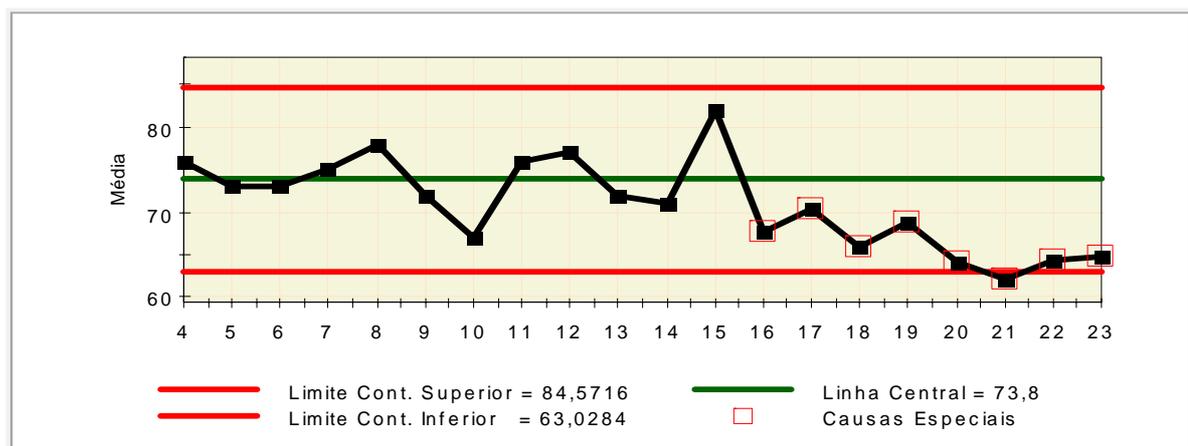
“ A freqüência de amostragem deve ser definida de forma que exista uma chance potencial de mudança dos resultados de um subgrupo para o outro” (RIBEIRO e CATEN, 2001).

2.5.4 As cartas de controle ou gráficos de controle

O Dr. Walter Andrew Shewart (1891 – 1967) desenvolveu os fundamentos básicos

dos gráficos de controle na década de 30, no Bell Telephone Laboratories. Estes gráficos são técnica simples, mas poderosa para separar causas comuns de causas especiais em um processo. Os Gráficos de Controle, também chamados de Cartas de Controle permitem entender e visualizar resultados/saídas de processos. Se processos estiverem fora de controle, as cartas ajudam na atuação sobre o processo para estabilização do mesmo. Um ponto muito forte das cartas de controle é que elas podem ser monitoradas e acompanhadas pelos próprios Operadores dos processos, dando a eles a oportunidade atuarem imediatamente sobre as causas especiais, contribuindo para a estabilização (MONTGOMERY, 2001).

Na Figura 2, pode-se ver um modelo carta de controle, ela é formada pela *plotagem* de dados, coletados durante o processo ao longo do tempo. É formada por média, desvio padrão dos valores e os limites superior e inferior de controle.



Fonte: Ribeiro e Caten, 2001, pg. 38

Figura 2. Exemplo de carta de controle para as médias

Segundo Werkema (1995), “os gráficos de controle são ferramentas para o monitoramento da variabilidade e para a avaliação da estabilidade de um processo. “

Segundo Latzko (2000), um fato é que as cartas de controle são pouco utilizadas nas áreas administrativas e serviços. Isto se deve a um mito: cartas de controle não podem ser usadas em processos administrativos e serviços. No livro *Out of the Crisis*, Deming (1992) deu acima de 100 sugestões para aplicação das cartas de controle, cobrindo diversas áreas.

Existem basicamente cinco cartas de controle, conforme Tabela 3.

Tabela 3. As cartas de controle, definições e objetivos (Fonte: Adaptado de Kume, 1985, pág. 101)

Cartas	Definição	Objetivos
Carta de Controle das Médias e das Amplitudes ($\bar{X} - R$)	Valores médios. Suas faixas e limites de controle. Usada para valores contínuos, tais como comprimento, largura ou concentração.	- Determinar se as características dos processos se aproximam dos limites extremos de controle.
Carta de Controle np	Números discretos de unidades não conformes em amostras de mesmo tamanho.	- Determinar se um processo está sob ou fora de controle.
Carta de Controle c	Número discreto de não conformidades em amostras e mesmo tamanho.	- Identificar tendências ascendentes ou descendentes nas características dos processos.
Carta de Controle p	Número discreto de não conformidades por unidade, as amostras podem ser de tamanho variável.	- Separar as variações decorrentes de causas comuns e as decorrentes causas especiais.
Carta de Controle u	Número discreto de não conformidades por unidade, as amostras podem ser de tamanho variável.	

Para Ribeiro e Caten (2001), as vantagens do uso das cartas de controle são: permitir que o monitoramento do processo seja executado pelos próprios Operadores; auxiliar o processo a atingir alta qualidade, baixo custo unitário, alta capacidade efetiva e consistência e previsibilidade; fornecer uma linguagem comum para discutir o desempenho do processo; fornecer distinção entre causas comuns e especiais e como consequência, servir de guia para ações locais ou gerenciais. Quanto ao tipo de dados que é coletado e o que se deseja monitorar, as cartas de controle podem ser classificadas em dois tipos. Se o dado é expresso em uma escala contínua, a carta é denominada carta de controle para variáveis. Os dados que formam esta carta são medidas como comprimento, largura, altura, peso, diâmetro, velocidade, espessura, e outras características onde se mede algo. São dados contínuos. Quando algum tipo de dado não pode ser expresso em uma escala contínua, a carta é denominada carta de controle por atributos. Dados do tipo atributo são os números de defeitos por produto ou número de defeituosos por unidade produzida. São dados discretos. Este tipo de dado não se

mede, se conta. Dependendo do tipo de dado que é coletado e dependendo do que se quer monitorar, deve ser escolhido o tipo de carta de controle. Para as Cartas np, p, c, e u devem ser coletados dados discretos e para a Carta $\bar{X} - R$ (Variáveis) devem ser coletados dados contínuos. Em processos sob controle estatístico, a característica de qualidade de interesse (variável) apresenta uma distribuição de valores conhecida, considerada como distribuição de referência para aquela variável.

Existem vários tipos de distribuição de probabilidade, com diferentes parâmetros e características. A distribuição mais frequentemente encontrada em aplicações do CEP é a distribuição Normal. Observações de uma característica de qualidade podem seguir uma distribuição Normal de pelo menos duas maneiras: (a) os valores individuais se ajustam à distribuição, ou (b) médias obtidas agrupando os valores individuais seguem a distribuição Normal (por força do teorema do limite central, apresentado anteriormente), segundo Kume (1993). A distribuição Normal é a base teórica do desenvolvimento das cartas de controle, podendo ser considerada a principal ferramenta do CEP (PITT, 1994).

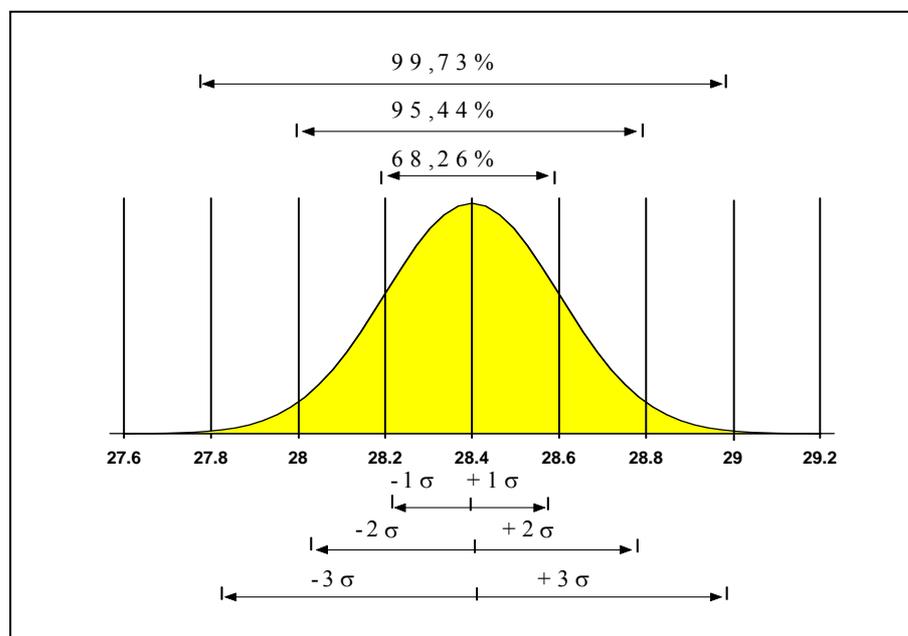
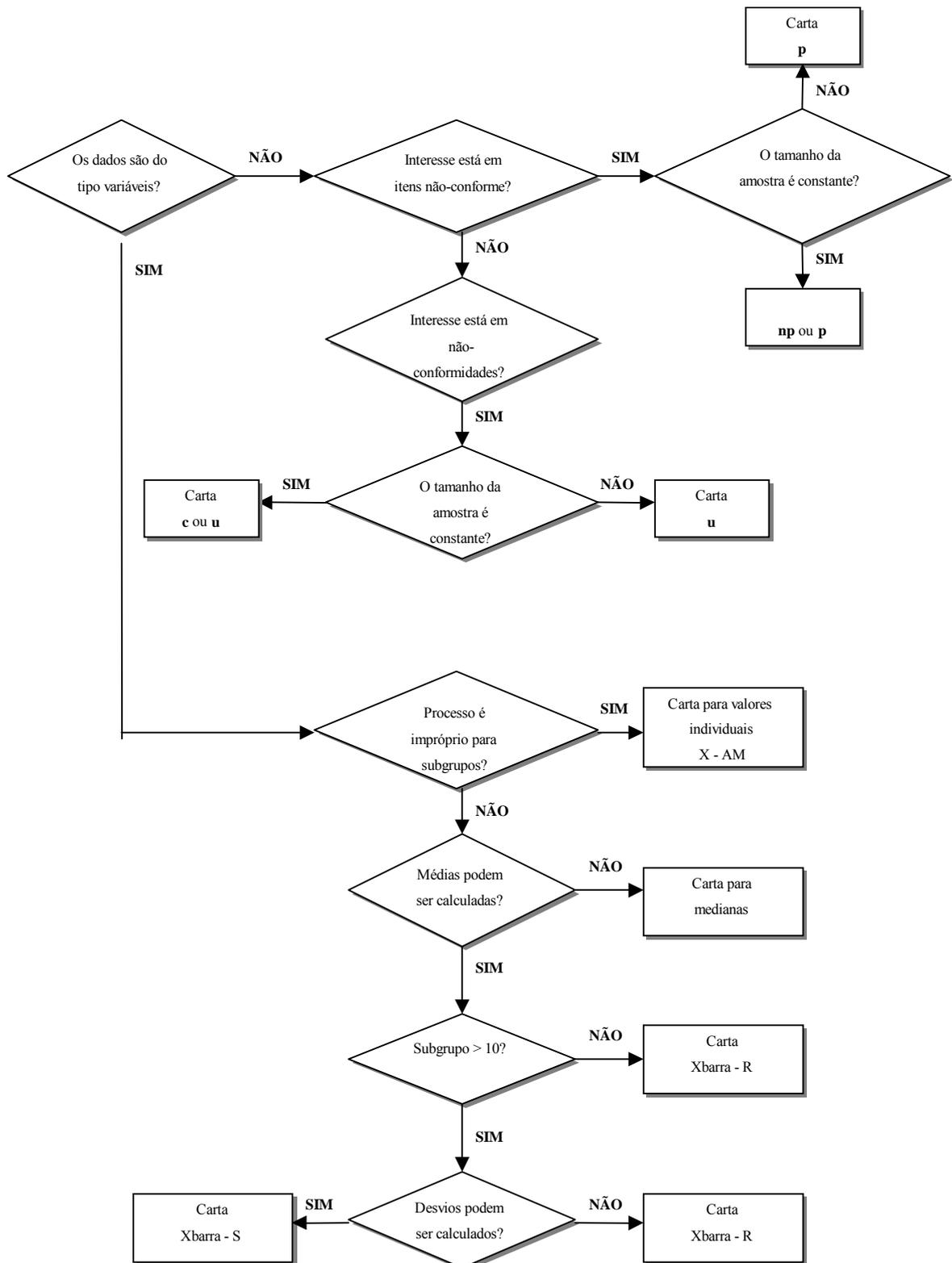


Figura 3 . Percentuais associados a faixa de $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$ da média de uma distribuição normal com média 28,4 e $\sigma = 0,20$

O tipo de dado e o se quer controlar determina o tipo de Carta de Controle a ser

utilizada, na Figura 4, segundo Ribeiro e Caten (2001), é apresentado um fluxograma, que pode servir de orientação para escolha de qual Carta de Controle utilizar.

A letra grega σ (sigma) simboliza desvio padrão, que é a medida de variabilidade.



Fonte: Ribeiro e Caten, 2001, pg. 69

Figura 4. Fluxograma de apoio para escolha das cartas de controle

Após definida a carta de controle a ser utilizada, passa-se para a coleta de dados. Os dados permitirão calcular os limites superior e inferior de controle, média e desvio-padrão.

Na Tabela 4, pode-se ver um resumo das fórmulas, nomenclatura e constantes estatísticas para cartas de controle e estudo de capacidade (MONTGOMERY, 2001).

Tabela 4. Fórmulas, definições e constantes estatísticas do CEP (Fonte: Adaptado de: Montgomery, 2001, pág. Contracapa.)

Fórmulas, Definições e Constantes Estatísticas do CEP					
Definições					
LSC – Limite Superior de Controle	\bar{X} - Média das Amostras				
LIC – Limite Inferior de Controle	$\bar{\bar{X}}$ - Média das Médias				
LC – Limite Central	R – Amplitude				
n – Tamanho da Amostra	\bar{R} - Amplitude Média				
c_p – Capacidade do Processo	C_{pk} – Capacidade Potencial do Processo				
σ - Desvio Padrão do Processo	LSE – Limite Superior de Especificação				
LIE – Limite Inferior de Especificação					
<hr/>					
Dados Variáveis (Carta de Controle das \bar{X} a R)					
<hr/>					
Carta de Controle das Médias \bar{X}					
$LSC = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	n	A_2	D_3	D_4	d_2
$LIC = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$	2	1,880	0,000	3,267	1,128
	3	1,023	0,000	3,267	1,693
Carta de Controle das Amplitudes	4	0,729	0,000	2,574	2,059
$LSC = \bar{R} D_4$	5	0,577	0,000	2,282	2,326
$LIC = \bar{R} D_3$	6	0,483	0,000	2,115	2,534
Capacidade	7	0,419	0,076	2,004	2,704
$C_p = (LSE - LIE) / 6\sigma$; onde $\sigma = \bar{R} / d_2$	8	0,373	0,136	1,924	2,847
	9	0,337	0,184	1,864	2,970
	10	0,308	0,223	1,777	3,078
<hr/>					

Os valores de A_2 , D_3 , D_4 e d_2 da Tabela 4, são fatores estatísticos estabelecidos que variam com o tamanho da amostra. Na prática, estes fatores, simplificam os cálculos dos

limites de controle.

Segundo Montgomery (2001), o Teorema do Limite Central indica que a soma de n valores tende a seguir o modelo Normal. Sendo este a teoria básica para o desenvolvimento das cartas de controle, as fórmulas dos limites de controle da Tabela 4, que estão apresentadas de maneira simplificada, estabeleceram-se a partir procedimento a seguir.

$$\bar{\bar{x}} = \mu \quad \text{eq. 1}$$

onde:

$\bar{\bar{X}}$ representa a média das médias amostrais

μ representa a média dos valores individuais da população

$$\bar{\sigma}_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{eq. 2}$$

onde:

$\bar{\sigma}_x$ representa o desvio-padrão das médias amostrais

σ representa o desvio-padrão dos valores individuais da população

n representa o tamanho da amostra

Analisando um conjunto de dados qualquer, pode-se concluir que a média das médias é igual a média dos valores individuais de uma população e o desvio-padrão das médias é menor que o desvio-padrão dos valores individuais na razão de $1/\sqrt{n}$. Inicialmente deve-se calcular a amplitude e a média de cada amostra. Após, calcula-se a média das amplitudes e a média das médias das amostras. Para se garantir que a variabilidade esteja associada a somente causas comuns de variação, estima-se a variabilidade usando a média das amplitudes dentro de cada amostra, logo, não está correto estimar a variabilidade usando a fórmula tradicional (eq. 3) do desvio-padrão (S), que abrange sobre todo o conjunto de dados, pois desta forma esta estimativa poderia estar associada a causas comuns (dentro das amostras) e causas especiais (entre as amostras).

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x})^2}{mn - 1}} \quad \text{Eq. 3}$$

onde:

x_{ij} representa um valor individual

m representa o número de amostras

n representa o tamanho das amostras

O cálculo dos limites de controle para a carta das médias pode ser visto a seguir.

Conhecendo-se \bar{x} e \bar{R} e considerando 6 desvios-padrão das médias (três para cada lado), pode-se estabelecer a fórmula do limite central, para a carta das médias.

$$LC = \bar{x} \pm 3\sigma_{\bar{x}} \quad \text{Eq. 4}$$

A variabilidade das médias pode ser estimada a partir da variabilidade dos valores individuais usando $\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$. Substituindo esta expressão na equação 4 tem-se:

$$LC = \bar{x} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \quad \text{Eq. 5}$$

Estimando-se a variabilidade dos valores individuais a partir da média da amplitudes dos subgrupos usando $\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$, sendo d_2 uma constante que depende do tamanho da amostra, cujos valores poder ser vistos na tabela 4. Substituindo-se esta expressão na equação 5 tem-se:

$$LC = \bar{x} \pm \frac{3 \cdot \bar{R}}{\sqrt{n} \cdot d_2} \quad \text{Eq. 6}$$

Considerando-se que $\frac{3}{\sqrt{n} \cdot d_2}$ é igual a A_2 , tem-se a fórmula simplificada dos limites de controle, para a carta das médias:

$$LSC = \bar{x} + A_2 \cdot \bar{R} \quad \text{Eq. 7}$$

$$LIC = \bar{x} - A_2 \cdot \bar{R} \quad \text{Eq. 8}$$

Sendo A_2 uma constante estatística que depende do tamanho da amostra, conforme Tabela 4.

O cálculo dos limites de controle para a carta das amplitudes pode-se ver a seguir.

$$LC = \bar{R} \pm 3\sigma_R \quad \text{Eq. 9}$$

Onde :

$$\sigma_R = d_3\sigma = d_3\frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Eq. 10}$$

Substituindo-se esta expressão na expressão da Eq. 9 tem-se os limites de controle:

$$LSC = \bar{R} + 3d_3\frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Eq. 11}$$

$$LIC = \bar{R} - 3d_3\frac{\bar{R}}{d_2} \quad \text{Eq. 12}$$

Como D_4 e D_3 são constantes estatísticas estabelecidas em relação ao tamanho de amostra, conforme Tabela 4 e, considerando que $D_4 = 1 + 3\frac{d_3}{d_2}$ e $D_3 = 1 - 3\frac{d_3}{d_2}$ tem-se a fórmula simplificada para o cálculos dos limites de controle da carta das amplitudes nas equações 13 e 14.

$$LSC = D_4\bar{R} \quad \text{Eq. 13}$$

$$LIC = D_3\bar{R} \quad \text{Eq. 14}$$

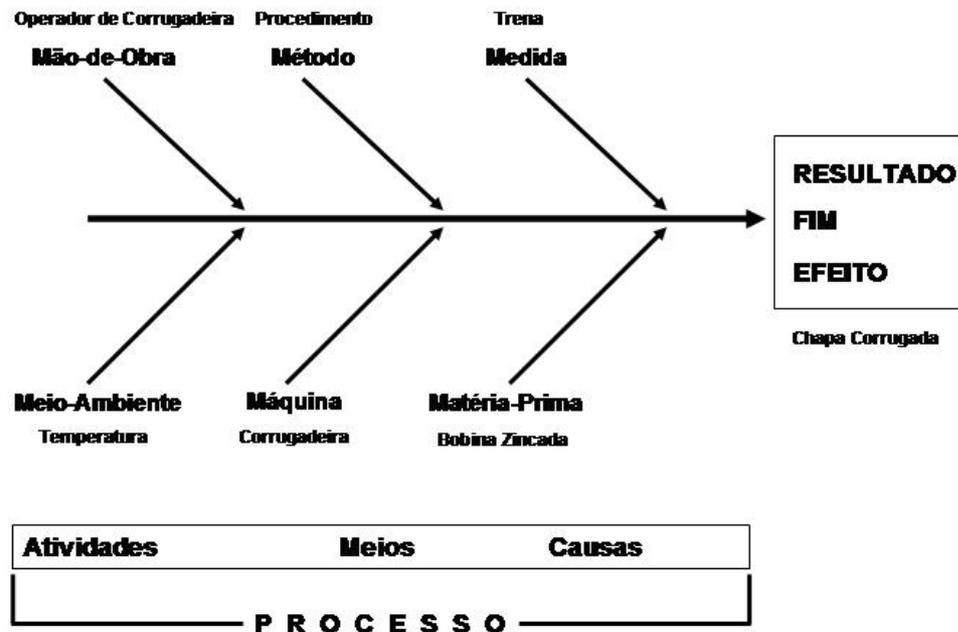
2.5.5 Sistema de controle do processo

Segundo Ribeiro e Caten (2001), o controle da qualidade depende de quatro elementos fundamentais, que formam o controle do processo, sendo apresentados a seguir:

2.5.5.1 Processo em Si

Segundo Dellaretti (1994), pode-se caracterizar processo como um conjunto de atividades e/ou processos que inter-relacionados produzem efeitos/resultados.

Um processo de manufatura, pode ser representado pelos 6m da manufatura em conjunto com o Diagrama da Espinha de Peixe ou Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de Causa e Efeito, Figura 5.



Fonte: adaptado de: Campos, 1992, pg.18

Figura 5. Exemplo ilustrado de processo e os 6 ms da manufatura

Para Ribeiro e Caten (2001), o desempenho do processo depende da maneira de como foi desenvolvido e da maneira como é operado. Segundo Montgomery (2001), a variabilidade ocorre devido a três motivos: ajuste ou controle impróprio de máquinas, erros de Operadores ou defeitos de matéria-prima.

2.5.5.2 Informações sobre o processo

Segundo Ribeiro e Caten (2001), informações sobre desempenho de processos são obtidas a partir de: “qualidade das características do produto final, qualidade das características intermediárias e ajuste dos parâmetros do processo.”

É preciso conhecer o processo, para conhecê-lo são necessárias informações, só assim

é possível realizar melhorias.

2.5.5.3 Ações sobre o processo

Quando o processo é monitorado, verificado e acompanhado, ao longo do tempo, pode-se agir sobre o mesmo, orientados para o futuro, pois a observação dos dados permite detectar tendências de defeitos e agir antes que ocorra.

2.5.5.4 Ações sobre o produto final

Inspeções sobre o produto final não geram conhecimento sobre o processo, apenas permitem separar os produtos com defeito dos sem defeito, além de ser orientada para o passado. Sua única vantagem é de não deixar ir para o cliente um produto defeituoso. Agir sobre o processo é mais eficaz e impede que novos produtos não-conformes sejam produzidos.

2.5.6 Variabilidade e as causas comuns e especiais

A variabilidade está presente na natureza, logo ela está presente nos processo também. Esta variação natural é representada por causas comuns, elas não comprometem o desempenho do processo. Se no processo se encontrarem somente causas comuns, diz-se que o processo está sob controle estatístico, sendo que a variação natural é provocada por causas comuns. Segundo Juran e Gofrey (1998), causas comuns são eventos que ocasionam pequena flutuação nos dados.

Outro tipo de variação, que resulta na instabilidade dos processos, são as causas especiais, estas não são naturais do processo e quando acontecem diz-se que o processo está fora de controle estatístico. Causas especiais, chamadas por Shewart de assinaláveis, para Juran e Godfrey (1998), são eventos que provocam flutuação representativa nos processos. Na Tabela 5, pode-se ver as diferenças entre causas comuns e especiais.

Com a análise dos dados, com o Teorema do Limite Central e observações empíricas, Shewart concluiu que os dados apresentavam aproximadamente uma distribuição normal. Surgiu então a Carta de Controle, que é um gráfico que representa a variação estatística durante um processo de produção.

A partir de então, as cartas de controle continuaram sendo usadas em todo mundo em vários tipos de indústrias, elas são a principal ferramenta do Controle Estatístico do Processo.

Tabela 5. Diferenças entre causas comuns e causas especiais (Fonte Ribeiro e Caten , 2001 pg 9)

Tipos de Causa	Tipo de Variação	Status do Processo	Ação Requerida
Comum	Inerente, natural previsível	Em controle Estatístico (Estável)	Ação sobre o sistema
Especial	Errática, alteração brusca, fuga gradual	Fora de Controle (Instável)	Ação localizada

2.5.7 Análise de cartas de controle

Com os dados calculados, espera-se que os pontos estejam distribuídos aleatoriamente entre os limites superior e inferior, conforme figura 6. Caso sejam detectados pontos fora dos limites de controle ou comportamentos não aleatórios entre os dados é possível que causas especiais estejam atuando sobre o processo. Neste caso, é necessário que sejam identificadas as causas dos desvios e corrigidas, assegurando-se que elas não ocorram mais, melhorando continuamente o processo.

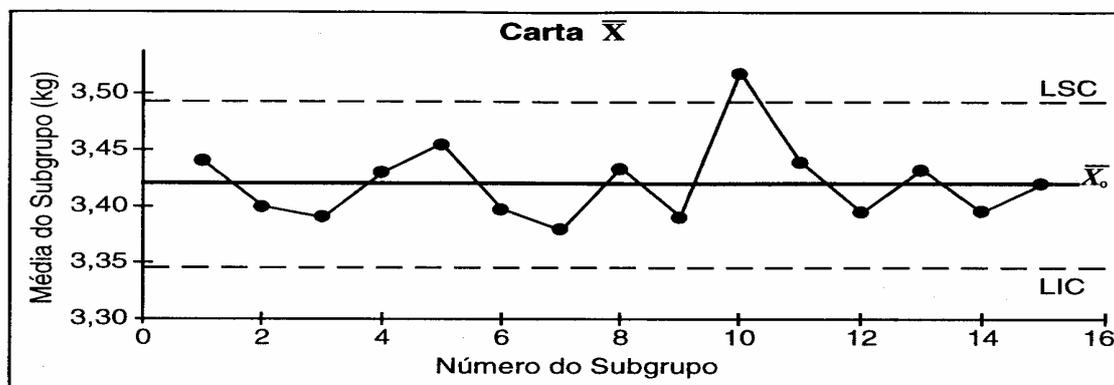


Figura 2.2 – Exemplo de carta de controle

Fonte: Rotandaro, 1997, pg.10

Figura 6. Exemplo de distribuição aleatória das médias e os limites de controle.

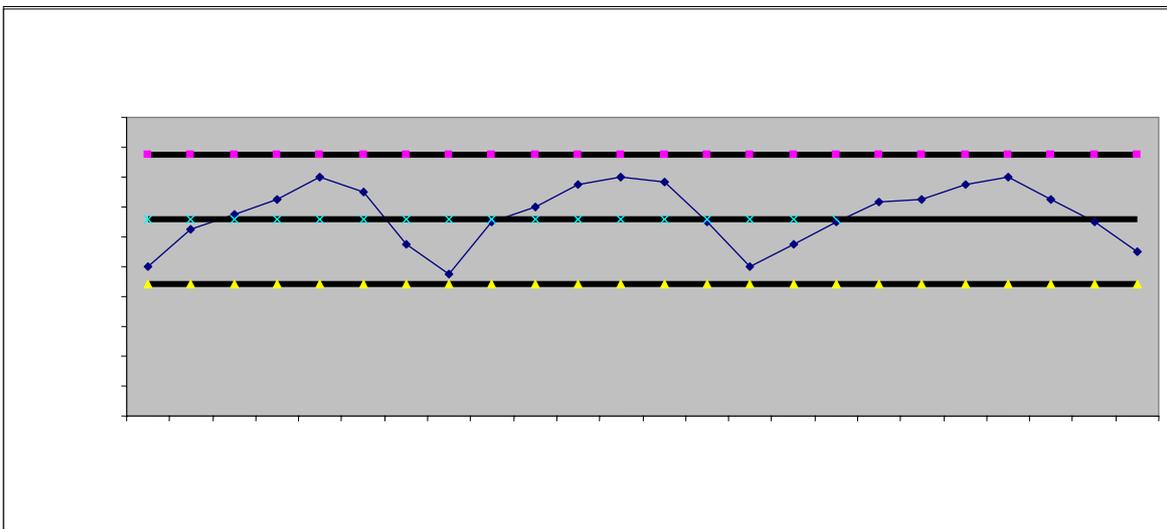
2.5.8 Análise da estabilidade do processo

Um processo é considerado estável quando não apresenta causas especiais, ou seja, quando os pontos estão dentro dos limites de controle, e é isso que se espera de um processo. Para concluir se um processo está fora de controle estatístico, deve-se observar os critérios a seguir, segundo (WERKEMA , 1995), (KUME , 1993) e (SIQUEIRA, 1997):

a) Pontos Fora dos Limites de Controle

Principal evidência que um processo está fora de controle estatístico, sugere uma ação imediata. Esta indicação também pode ser gerada por erro de medição, defeito em alguma máquina ou erro de operador durante o processo. Para ser considerado fora de controle, basta a incidência de um ponto além dos limites.

c) Periodicidade



Fonte: Adaptado de: Kume, 1985, pg. 115

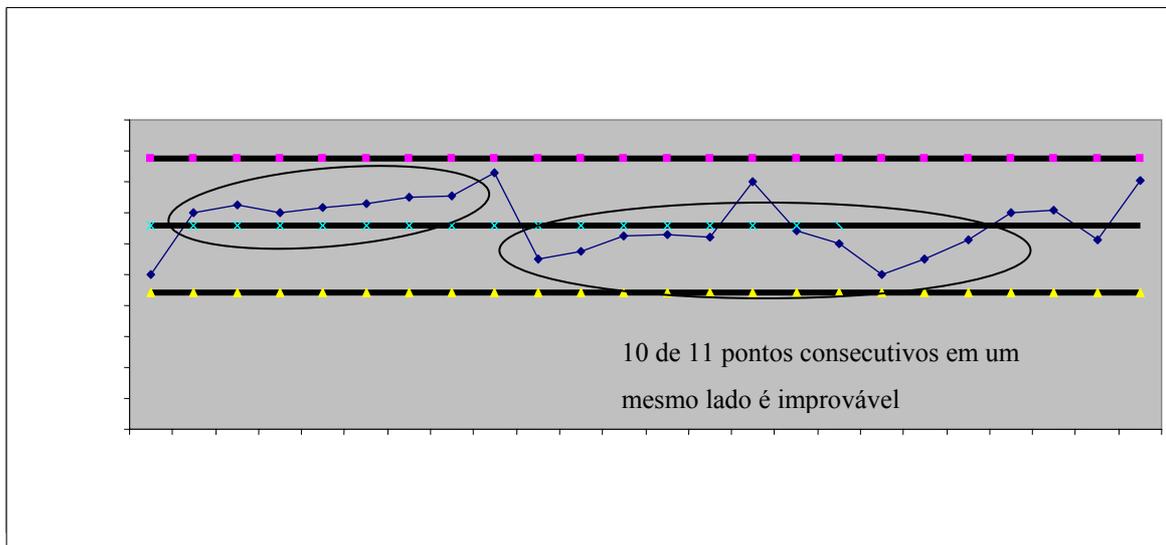
Figura 7. Periodicidade

Ocorre periodicidade quando a carta apresenta uma curva repetida, para cima e para baixo, em intervalos de tempo de semelhante amplitude, Figura 7. Periodicidade pode ser gerada por troca de operador, troca de turno, troca de matéria-prima, condições ambientais,

cansaço do operador e desregulagem de máquina.

c) Seqüência

Seqüência é a incidência de vários pontos consecutivos, segundo Kume (1993), também chamada de comprimento de seqüência. Kume (1993) apresenta vários tipos de comprimento de seqüência considerados anormais, conforme representação da Figura 8.



Fonte: Adaptado de: Kume, 1985, pg. 113

Figura 8. Seqüência

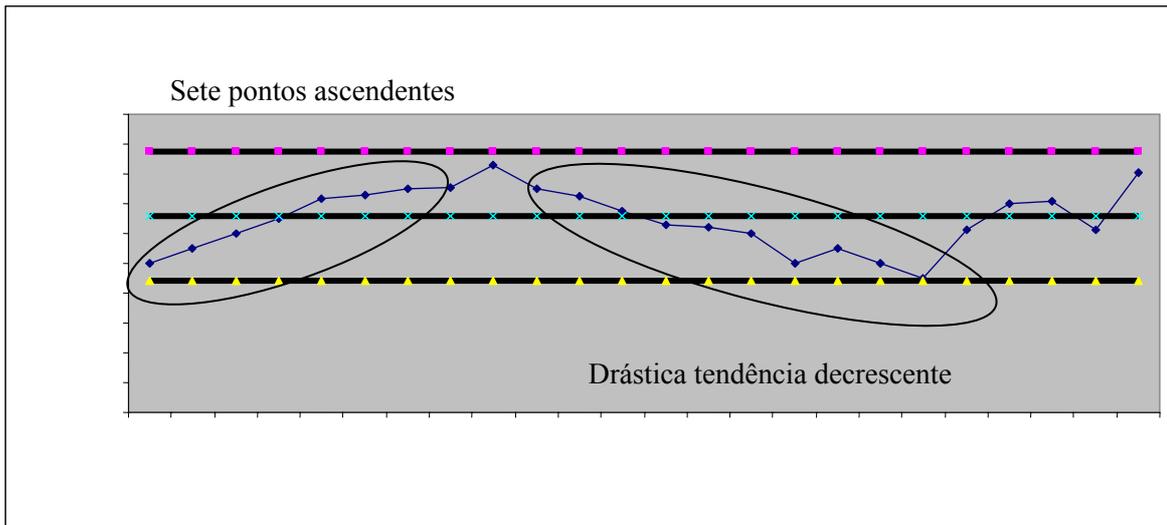
- Uma seqüência de sete ou mais pontos acima ou abaixo da linha média.
- Dez em onze pontos consecutivos aparecem acima ou abaixo da linha média.
- Doze em quatorze pontos consecutivos aparecem acima ou abaixo da linha média.
- Dezesesseis em vinte pontos consecutivos aparecem acima ou abaixo da linha média.

Este tipo de alteração pode ser provocado por alteração de algum procedimento operacional, troca de operador, alteração de algum instrumento de medida ou alteração da sistemática de inspeção.

d) Tendência

É um movimento contínuo dos pontos do gráfico, indicando uma direção, conforme

Figura 9. Para ser considerada tendência, ela deve ser constituída de sete ou mais pontos consecutivos ascendentes ou descendentes, independente da localização em relação à linha média. Segundo Werkema (1995), tendência pode ser provocada por desgaste de ferramentas e dispositivos e/ou fatores humanos como cansaço ou a própria presença de chefiás. Alterações em condições como temperatura e pressão também podem provocar tendências.

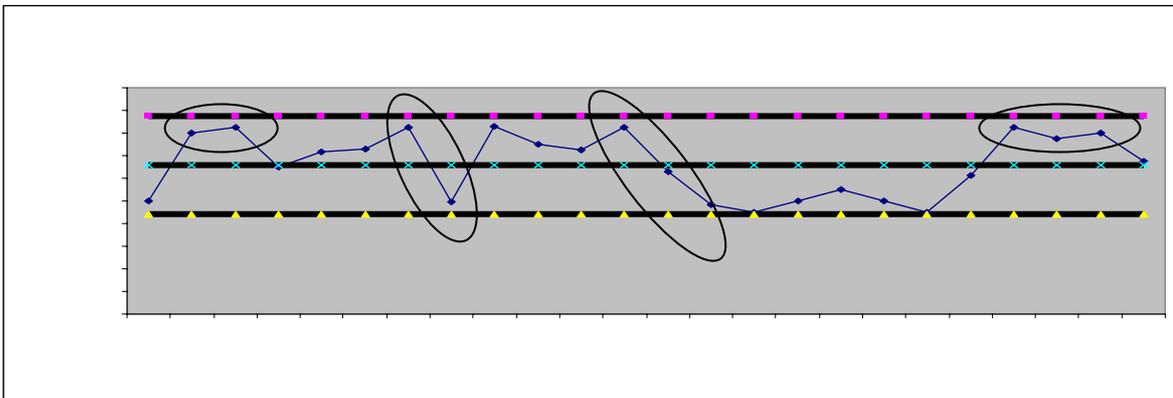


Fonte: Adaptado de: Kume, 1985, pg. 114

Figura 9. Tendência

e) Proximidade dos Limites de Controle

2 de 3 pontos consecutivos fora dos limites 2σ , mesmo estes estando dentro dos limites 3σ , conforme Figura 10. Ajustes no processo, sem metodologia e conhecimento adequados, feito por Operadores, podem provocar pontos próximos aos limites de controle.

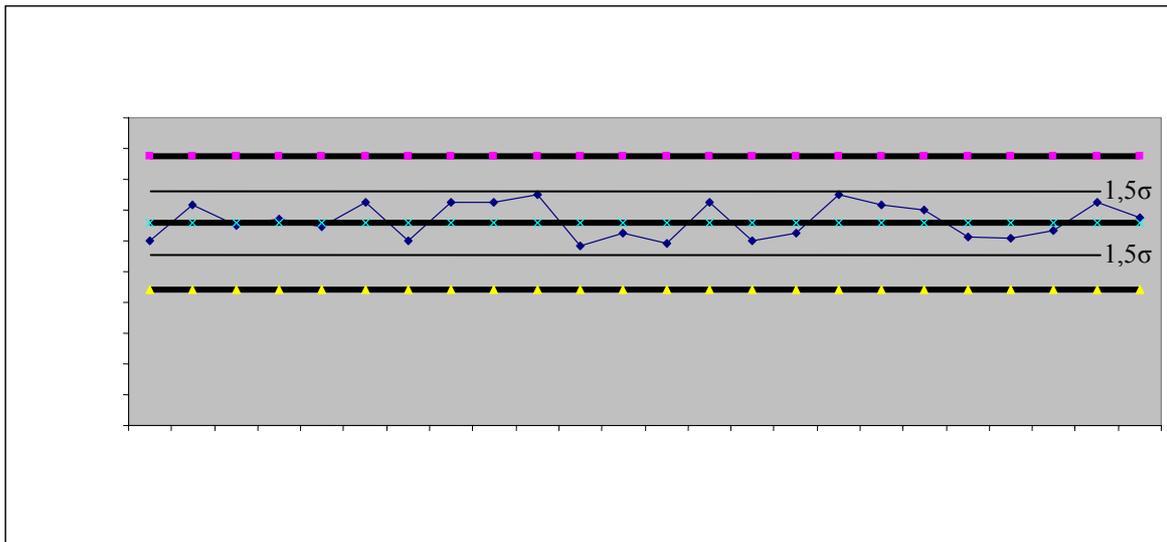


Fonte: Adaptado de: Kume, 1985, pg. 114

Figura 10. Proximidade dos limites de controle

f) Aproximação da Linha Média

Quando os pontos, em sua maioria, estão distribuídos muito próximos da linha média, conforme Figura 11, dentro do limite central $1,5\sigma$, haverá uma indicação de que podem ter ocorridos erros nos cálculos dos limites de controle ou de que os subgrupos racionais (mostras) foram formados de maneira inadequada. Podem estar indicando mistura de dados, provenientes de populações distintas em um mesmo subgrupo.



Fonte: Adaptado de: Kume, 1985, pg. 115

Figura 11. Proximidade da linha central

Logo, a aproximação da linha média não significa um estado de controle do processo. Segundo Werkema (1995), “se em uma amostra estiverem misturados dados de duas distribuições diferentes, amplitude amostral \bar{R} (amplitude média) deverá ser bastante elevada, o que dará origem a limites excessivamente largos no gráfico \bar{X} (gráfico das médias). Além disso, \bar{R} (amplitude média) deixará de estar cumprindo sua função, que consiste em medir a variabilidade natural do processo (provocada por causas aleatórias), e passará a medir a variabilidade existente entre duas diferentes distribuições (dois processos distintos).

2.5.9 Subgrupos racionais

Segundo Werkema (1995), a construção de gráficos de controle deve conter dados amostrais de subgrupos homogêneos, sempre que possível, que compõe o processo que está

sendo considerado. Estas amostras homogêneas são conhecidas como subgrupos racionais.

“ A formação adequada dos subgrupos racionais é fundamental para que seja construído um gráfico de controle realmente útil “ (WERKEMA, 1995).

Para isso é preciso conhecer o processo, considerando suas variações, sendo necessário considerar as variações provocadas por causas aleatórias. “

Por exemplo, onde se quer monitorar o desempenho de um processo de corte de chapas, sendo seu comprimento a característica da qualidade que interessa, deve-se analisar se os pontos que compõe carta de controle são:

- de cortes de um mesmo operador, em vez de mais de um operador;
- se os pontos são de uma mesma guilhotina, em vez de 4 ou 5 guilhotinas diferentes;
- se a uma guilhotina cortou um mesmo tipo de material e não materiais com diferente dureza.

A formação de subgrupos racionais é obtida por observações separadas de cada fonte de informação (por exemplo, matéria-prima proveniente de um só fornecedor ou itens produzidos de uma mesma máquina). Subgrupos racionais, significam que as amostras devem ser formadas de tal maneira que, dentro de cada amostra, as variações possam ser atribuídas a apenas causas aleatórias; mas entre amostras as variações sejam devidas a causas especiais. A análise das diferenças entre as amostras indicará se o processo está sob controle estatístico ou não (DELLARETTI, 1984).

Segundo Montgomery (2001), a importância da construção de subgrupos especiais é que eles minimizam a possibilidade da presença da variabilidade devido a causas especiais dentro de uma amostra e maximiza a possibilidade de ocorrência de variabilidade entre amostras, se causas especiais estiverem presentes.

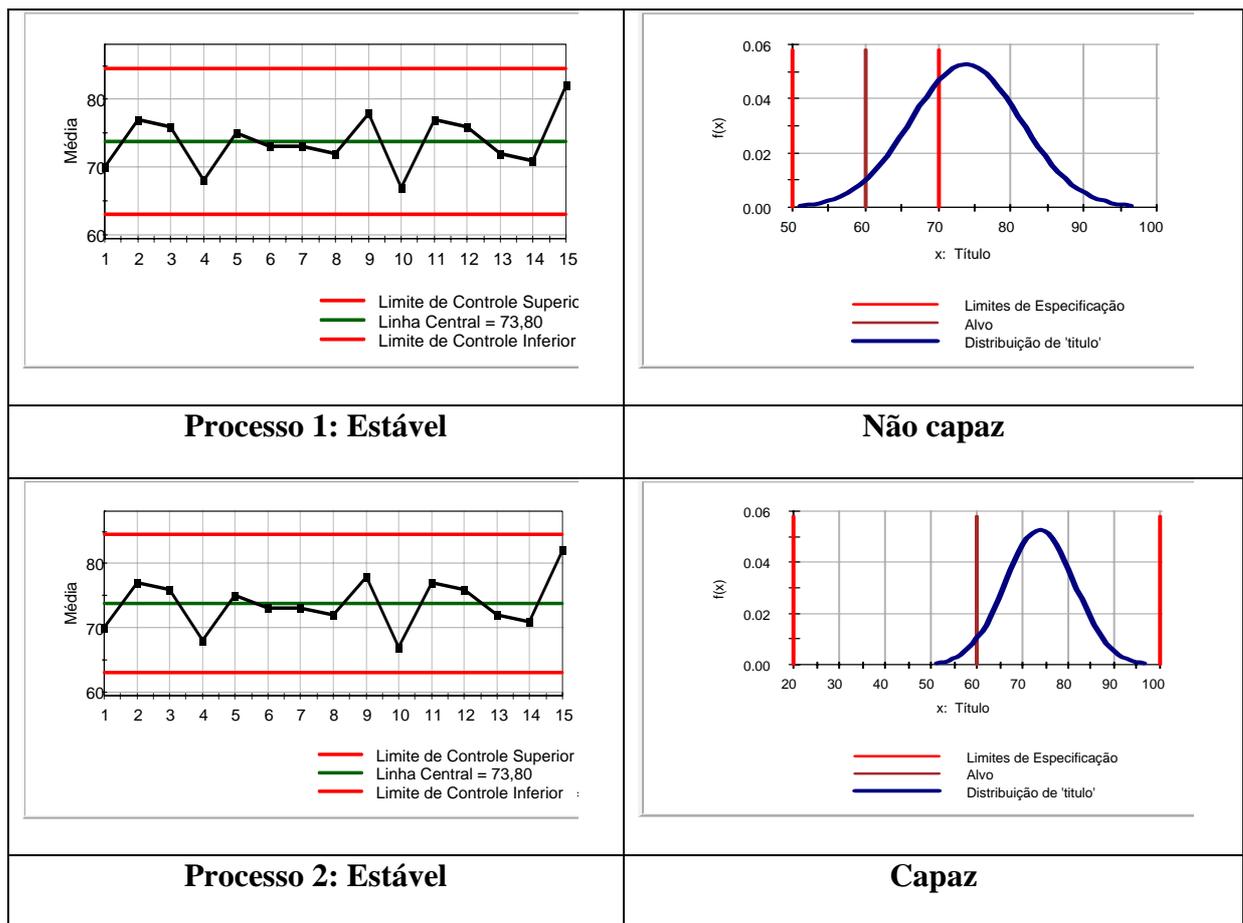
2.5.10 Capacidade do processo

Capacidade é a variabilidade do processo, depois que este foi otimizado e está sob controle. Otimização esta, sem investimento significativo (SIQUEIRA, 1997).

A real capacidade de um processo somente pode ser calculada quando o mesmo

estiver estabilizado, ou seja, sem a presença de causas especiais, quando somente causas comuns estão contribuindo para a variabilidade.

Segundo Ribeiro e Caten (2001), um processo sob controle não garante que seja capaz de atender as especificações de clientes ou de projeto.



Fonte: Adaptado de: Ribeiro e Caten, 2001, pg. 42

Figura 12. Processo capaz e não-capaz dependendo da especificação

Na Figura 12, pode-se ver graficamente esta afirmação, o Processo 1 é estável e não capaz, e o Processo 2 é estável e capaz. No Processo 1, não é capaz pois apresenta valores além do limite superior de especificação (70), mesmo apresentando uma Distribuição Normal e não apresentando causas especiais. O Processo 2 é capaz, pois os dados do processo estão dentro das faixas de especificação, embora não esteja centrado.

Um processo pode apresentar variabilidade controlada e previsível e mesmo assim

produzir itens defeituosos. Não é suficiente que o processo esteja sob controle, é fundamental analisar se o mesmo é capaz de atender as especificações (WERKEMA, 1995)

Segundo Montgomery (2001), técnicas estatísticas podem ser usadas no desenvolvimento de produtos, inclusive desenvolvimento dos processos críticos para a manufatura, redução da variabilidade, análise da variabilidade em relação a especificações e requisitos de produto, como ferramenta para desenvolvimento e manufatura com objetivo de eliminar gradualmente ou reduzir a variabilidade. A estas atividades gerais chama-se análise da capacidade de processos.

Segundo Werkema (1995), para definição da capacidade é preciso considerar que a faixa de característica do processo seja a média da população mais ou menos 3 desvio padrão ($\mu \pm 3\sigma$). Considerando que o processo esteja sob controle estatístico e que a seja verdadeira a curva da normalidade, 99,73% dos valores de interesse de uma determinada variável estarão dentro dos limites de controle.

“ Os valores de μ (média da população) e σ (desvio padrão da população) são desconhecidos, logo, eles deverão ser estimados por meio de dados amostrais para que a capacidade do processo possa ser avaliada. A média μ é bem estimada pela média amostral \bar{X} enquanto que σ pode ser estimado por s (desvio padrão das amostras), sendo $\bar{s}/c4$ ou $\bar{R}/d2$ ”.

Segundo Montgomery (2001), a análise da capacidade de processo pode ser feita através de histogramas e/ou gráficos seqüenciais, considerando características da qualidade de interesse e os limites de especificação.

A Figura 13 ilustra a análise de capacidade por meio de histogramas (KUME, 1991).

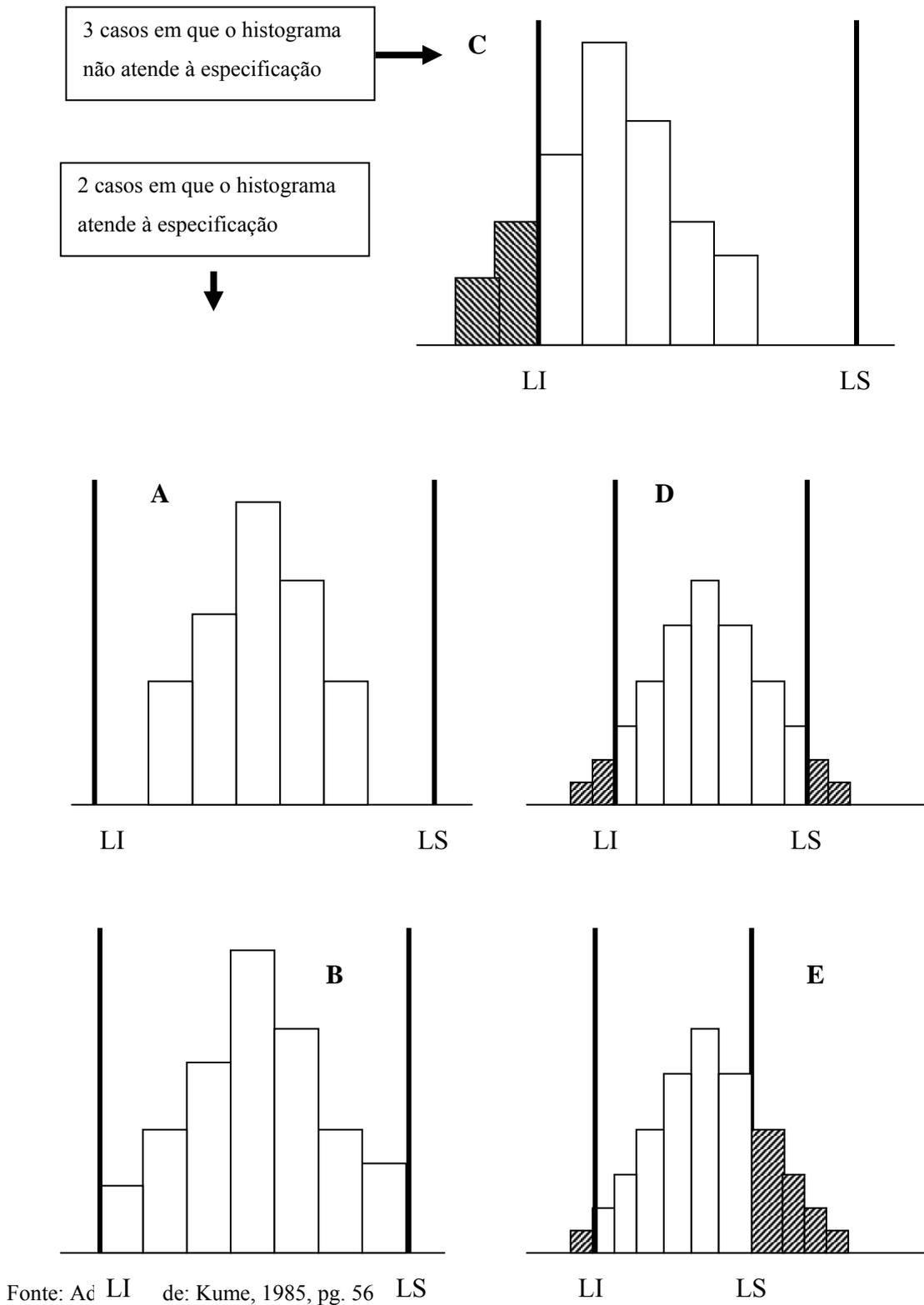


Figura 13 . Histogramas e limites de especificação

Analisando a Figura 13 (a), pode-se ver que o processo atende com folga a especificação, a média está localizada no centro e obedece a uma Distribuição Normal

Simétrica.

Na Figura 13 (b), pode-se ver que o processo atende a especificação, mas sem folga, qualquer desvio nas amostras pode fazer com que não atenda a especificação, é preciso tomar alguma ação para reduzir a variabilidade, a média está centrada e a distribuição se configura numa Distribuição Normal Simétrica.

Na Figura 13, (c), (d) e (e), apresenta um processo não capaz de atender as especificações, pois valores estão além dos limites de controle. Na letra (d) a média está centrada e se configura numa Distribuição Normal, mas com valores fora dos limites tanto para esquerda como para a direita da média. Ação: Implementar ações de melhoria para reduzir a variabilidade. Nas letras (c) e (e), a média está deslocada para a esquerda e para a direita, e em ambos os casos há valores além dos limites de controle. Ações: Para a letra (c) devem ser tomadas medidas para deslocar a média para o ponto central. Para a letra (e) devem ser tomadas atitudes para deslocar a média para o centro e reduzir a variabilidade.

Os histogramas permitem responder às seguintes perguntas, analisando-se o desempenho de um processo:

- O processo é capaz de atender as especificações ?
- A média da distribuição das medidas da característica da qualidade está próxima do centro da faixa de especificação ?
- É necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade do processo ?

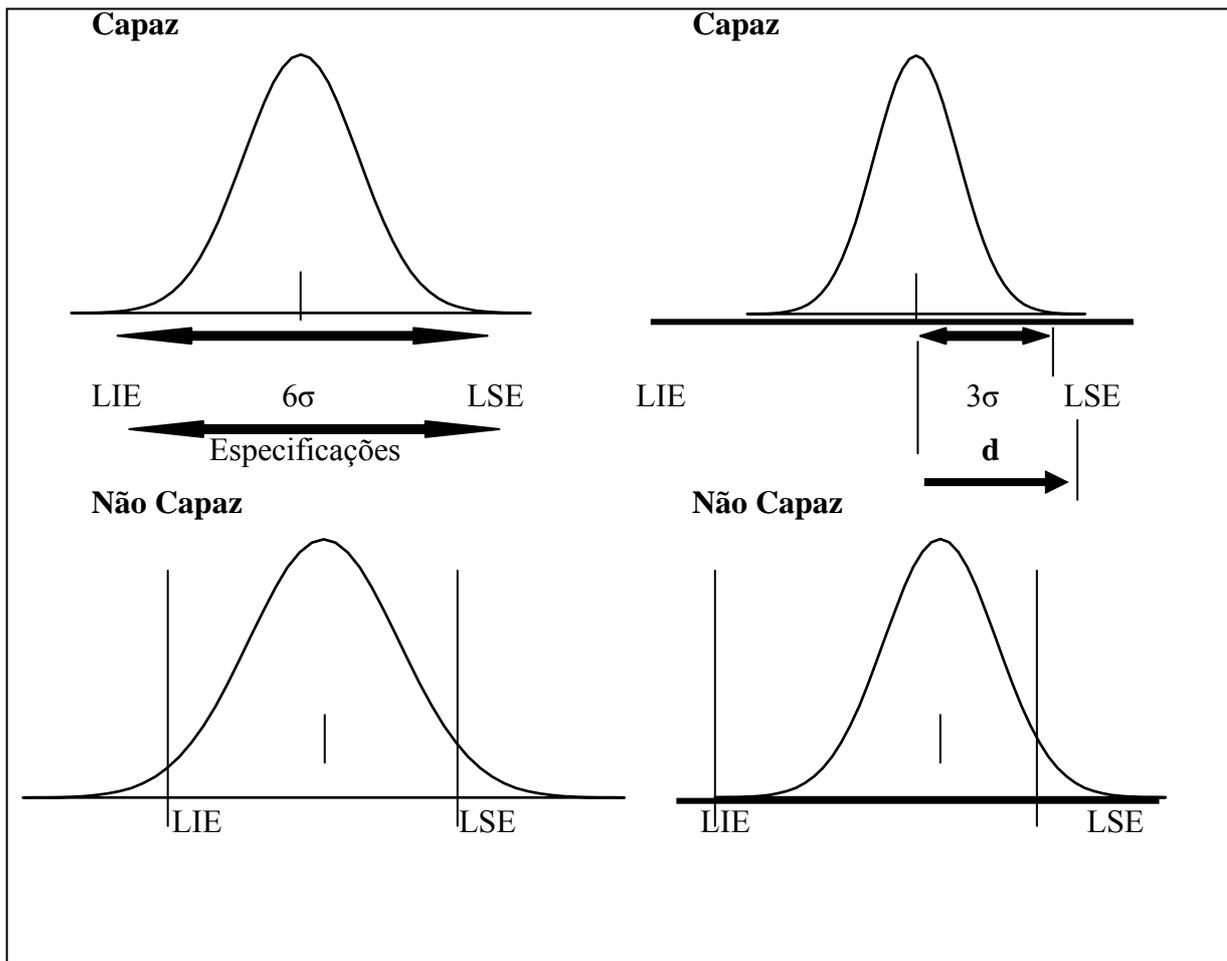
Se a variabilidade gerada por causas comuns for grande, ou seja, maior que a amplitude das especificações, diz-se que o processo não é capaz. Sendo assim, ações gerenciais são necessárias. E, se a variabilidade inerente ao processo for menor que a amplitude as especificações, afirma-se que o processo é capaz, desta maneira, ações devem ser tomadas somente quando existirem causas especiais.

“ Não faz sentido avaliar capacidade de um processo se o mesmo não for previsível. Somente processos estáveis devem ter sua capacidade avaliada ” (WERKEMA, 2001).

Segundo Ribeiro e Caten (2001), pode-se também demonstrar a capacidade dos processos através de cálculos. Para estes cálculos utilizam-se os limites naturais do processo e as especificações de Engenharia de Produto ou as especificações dos Clientes.

Os cálculos que demonstram a capacidade dos processos denominam-se índices de capacidade. Os índices que podem ser utilizados são o Cp e o Cpk e podendo ser utilizados supondo que as variáveis provêm de uma Distribuição Normal.

A Figura 14 mostra processos capazes e não capazes, supondo que as variáveis provêm de uma distribuição Normal.



Fonte: Adaptado de: Ribeiro e Caten, 2001, pg. 50

Figura 14. Exemplo de processo capaz e não capaz

O Cp é o Índice de Capacidade Potencial sendo seu cálculo expresso por:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6s} \quad \text{Eq. 15}$$

Pode-se utilizar este índice quando a características dos dados é do tipo Nominal é Melhor, ou seja, espera-se atingir um valor alvo, e todo o desvio é prejudicial.

Este índice não avalia a capacidade real, pois não verifica se o processo está centrado ou não.

A capacidade real de processos para a característica da qualidade nominal é melhor, deve ser expressa pelo Índice Cpk.

$Cpk \geq 1$, processo capaz.

$Cpk \leq 1$, processo não capaz.

Para característica da qualidade nominal é melhor a fórmula do Cpk é expressa por:

$$Cpk = \min\left\{\frac{LSE - \bar{x}}{3s}, \frac{\bar{x} + LIE}{3s}\right\} \quad \text{Eq. 16}$$

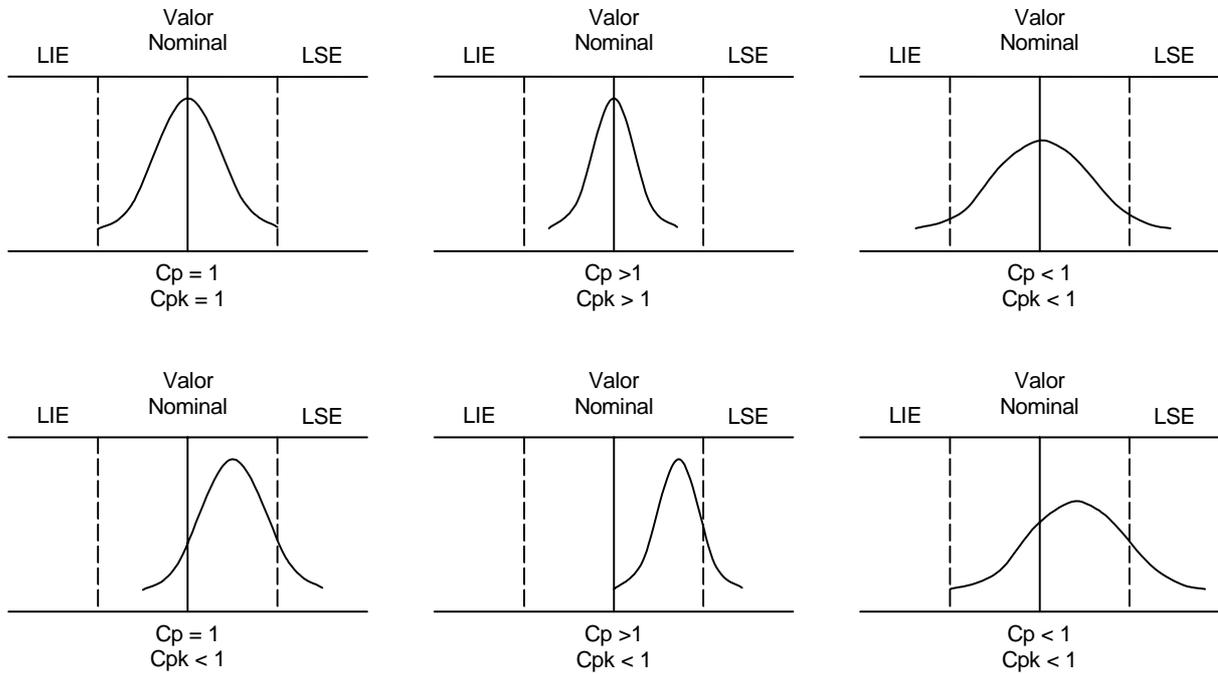
Segundo Ribeiro & Caten (2001), analisando-se a Figura 18, podem-se fazer os seguintes comentários e conclusões sobre Cp e Cpk:

- Cpk é menor do que o Cp, quando o processo não está centrado, e Cpk é igual ao Cp quando o processo está centrado.
- O Cpk é sempre menor ou igual ao Cp. O Cpk mede a capacidade real, e o Cp a capacidade máxima, quando o processo está centrado.
- O $Cpk > 1$ é condição necessária para que a fração de defeituosos seja pequena (< 0,27%). Muitas empresas usam como padrão de qualidade a meta $Cpk > 1,33$, que está associada a uma fração de defeituosos de 0,00633%.

Pode-se concluir que:

- Quando o processo está centrado, $Cp = Cpk$;
- O $Cpk \leq Cp$ em processos não centrados;
- Devido aos limites inferior e superior de controle, deve-se calcular o Cpk inferior e superior, como espera-se um $Cpk \geq 1$, para análise da capacidade, considera-se o Cpk inferior;
- Em Cpk baixo e Cp alto é mais fácil e econômico fazer melhorias;
- Centrar processos é mais fácil em características da qualidade nominal é melhor;
- O Cp somente faz sentido em características da qualidade nominal é melhor

Uma comparação de C_p e C_{pk} é apresentada na Figura 15.

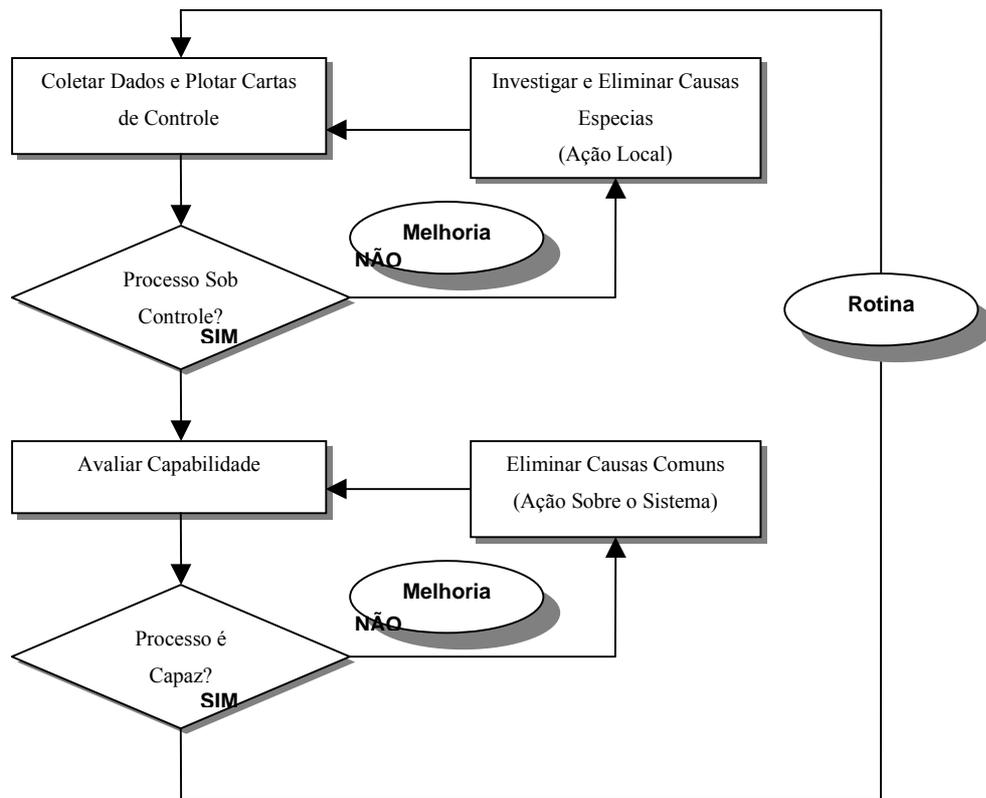


Fonte: Montgomery, 2001

Figura 15. Comparação das magnitudes de C_p e C_{pk}

2.5.11 Processo iterativo de melhoria

Ribeiro e Caten (2001), apresentam um fluxo de processo iterativo de melhoria com a utilização das cartas de controle, pela coleta dos dados, avaliação da estabilidade e capacidade dos processos. O fluxo é apresentado na Figura 16.



Fonte: Ribeiro e Caten, 2001, pg. 12

Figura 16. Procedimento iterativo de melhoria

2.5.12 Análise do sistema de medição

Segundo Werkema (1996), no gerenciamento dos processos, dados representam fonte para tomada de decisão. Faz-se necessário que os sistemas de medição forneçam resultados aceitáveis. A avaliação estatística da qualidade de medidas é um assunto importantíssimo que contribui para a confiabilidade das medições realizadas.

Segundo Ribeiro e Caten (2001), a análise do sistema de medição utilizado é necessária para que o desempenho do processo esteja adequado às medições encontradas, assim sendo, tem-se confiança nas mesmas. Esta análise deve ser realizada antes da implantação das cartas de controle. Ao analisar sistemas de medição, é preciso dar atenção especial ao poder de discriminação, que é a capacidade de detectar pequenas mudanças nas características em estudo. O poder de discriminação é o número de categorias que a medição discrimina, sendo recomendado o uso de três a cinco categorias. Um função do número de

categorias, pode-se utilizar três categorias quando o controle das características é crítica e o processo tem boa capacidade. Quando são monitoradas características críticas, recomenda-se usar cinco categorias, pois assim o sistema de medição fornece estimativas precisas dos parâmetros e índices dos processos. A força da discriminação é percebida nas cartas de controle das médias e das amplitudes, pois os dados que formam estas cartas são contínuos, são medidos, tendo grande importância a qualidade da medição e a confiança no sistema de medição. Sistemas de medição podem ser avaliados quanto à estabilidade, tendência, linearidade, repetitividade e reprodutibilidade, cada uma delas definidas abaixo:

1) Estabilidade: Desempenho do sistema de medição ao longo do tempo. Normalmente não é quantificada, pode ser avaliada através de cartas de controle. Para avaliação da estabilidade, mede-se uma peça ao longo do tempo. A medida deveria ser a mesma, mas isto não acontece, pois tem-se a variabilidade do próprio sistema de medição. Pode-se exemplificar pela medição realizada com um paquímetro que, ao longo do tempo, tende a afrouxar, perder algum ajuste, perder a calibração e até, pela falta de treinamento aos operadores, apresentar medidas diferentes. Pode-se estabelecer uma carta de controle para avaliar a estabilidade, onde pontos fora dos limites de controle revelam falta de estabilidade do sistema de medição.

2) Tendência: É definida pela diferença entre a média observada e um valor de referência, onde a média é um conjunto de leituras realizadas, ou conjunto de dispositivos ou pelo operador que se quer avaliar. A segunda é o valor que se tem como correto, obtido por exemplo, de um laboratório de metrologia.

3) Linearidade: É a verificação do desempenho de um dispositivo de medição ao longo de sua faixa de uso. Como exemplo, pode-se citar a análise de uma trena de cinco metros. Esta pode ter sua linearidade analisada medindo-se várias peças de tamanhos de um a cinco metros registrando-se tendência observada a cada metro medido, através de um estudo de regressão, se a tendência é função do valor de referência. A linearidade serve para mostrar se a tendência é uniforme nas várias faixas medidas.

4) Repetitividade: Repetitividade ou variação do equipamento é observada quando várias medições em uma mesma peça são feitas por um mesmo operador, portanto, quanto menores as diferenças encontradas melhor é a repetitividade. A repetitividade usa o desvio

padrão como média, como se pode ver na fórmula a seguir. Esta compreende o intervalo que abrange 99% da variação esperada para uma distribuição normal.

$$VE = 5,15se \quad \text{Eq. 17}$$

5) Reprodutibilidade: É a diferença entre as medidas feitas por diferentes operadores, geralmente provocada por diferentes formas ou procedimentos de medição, de cada operador. Estima-se esta variabilidade determinando-se a média de cada operador, após calcula-se a amplitude, subtraindo-se a menor da maior média.

$$Ro = \bar{X} \text{ max} - \bar{X} \text{ min} \quad \text{Eq. 18}$$

A fórmula para a reprodutibilidade ajustada e o desvio padrão ajustado são demonstrados a seguir, também abrangendo 99% de variação esperada para uma Distribuição Normal.

$$VO = \sqrt{\left(5,15 \frac{Ro}{d_2}\right)^2 - \left(\frac{5,15 \times \sigma_e}{nr}\right)^2} \quad \text{Eq. 19}$$

Sendo o desvio padrão estimado $\sigma_o = Ro/d_2$ e a reprodutibilidade estimada como $5,15 \times \sigma_o$, onde n = número de peças, r = número de seções de medição e d_2 uma constante estatística que depende do tamanho da amostra, conforme Tabela 4.

Como resultado do desvio padrão ajustado dos operadores tem-se:

$$\sigma_o = VO/5,15 \quad \text{Eq. 20}$$

Conhecida a variabilidade devido à repetitividade (equipamento) e a reprodutibilidade (operador), a variabilidade do sistema de medição é calculado por:

$$R \& R = \sqrt{VE^2 - VO^2} \quad \text{Eq. 21}$$

A variação peça a peça obtém-se pela fórmula:

$$VP = 5,15 \times \sigma_p \quad \text{Eq. 22}$$

A variação total do processo é obtida pela fórmula:

$$VT = \sqrt{R \& R^2 + VP^2} \quad \text{Eq. 23}$$

A avaliação do sistema de medição é obtida pela fórmula:

$$R \& R\% = \frac{(100 \times R \& R)}{VT} \quad \text{Eq. 24}$$

Pode-se utilizar também o intervalo das especificações, considerando as tolerâncias, desta maneira usa-se a seguinte fórmula:

$$R \& R\% = \frac{(100 \times R \& R)}{\text{Tolerâncias}} \quad \text{Eq. 25}$$

Segundo Ribeiro e Caten (2001), o R&R% deve ser baixo. Quando é igual ou inferior a 20% tem-se um bom poder discriminatório, ou seja, discrimina peças boas de ruins.

3 PLANEJAMENTO DA IMPLANTACÃO

Segundo Hradesky (1988), a implementação do controle estatístico do processo depende da cultura estatística da organização para aprender a executar processos e resolver problemas, da abordagem sistemática da equipe e da postura dos facilitadores para a sua implementação. O sucesso da implantação do controle estatístico de processos depende 10% do conhecimento estatístico e 90% de ações gerenciais. Dados devem ser coletados para elaboração de Cartas de Controle e isto exige tempo, recursos e mudança na filosofia de inspeção de produto para monitoramento de processos. O planejamento da implementação deve levar em consideração aspectos como: utilizar poucas cartas de controle; aplicar o CEP em processos críticos para o desempenho do mesmo e utilizar o CEP como uma ferramenta estratégica de melhoria, sendo que a coleta de dados pelos colaboradores não representa desperdício de tempo e recursos.

Neste capítulo, apresenta-se o planejamento da aplicação do Controle Estatístico do processo. O estudo foi realizado em uma empresa do ramo metalúrgico agroindustrial, produtora de equipamentos para criação de aves/suínos e equipamentos para armazenagem, secagem e movimentação de grãos. Mais especificamente no Setor de Estamparia, no processo de corrugação de chapas de corpo da linha de silos de grãos de corrugação 4”.

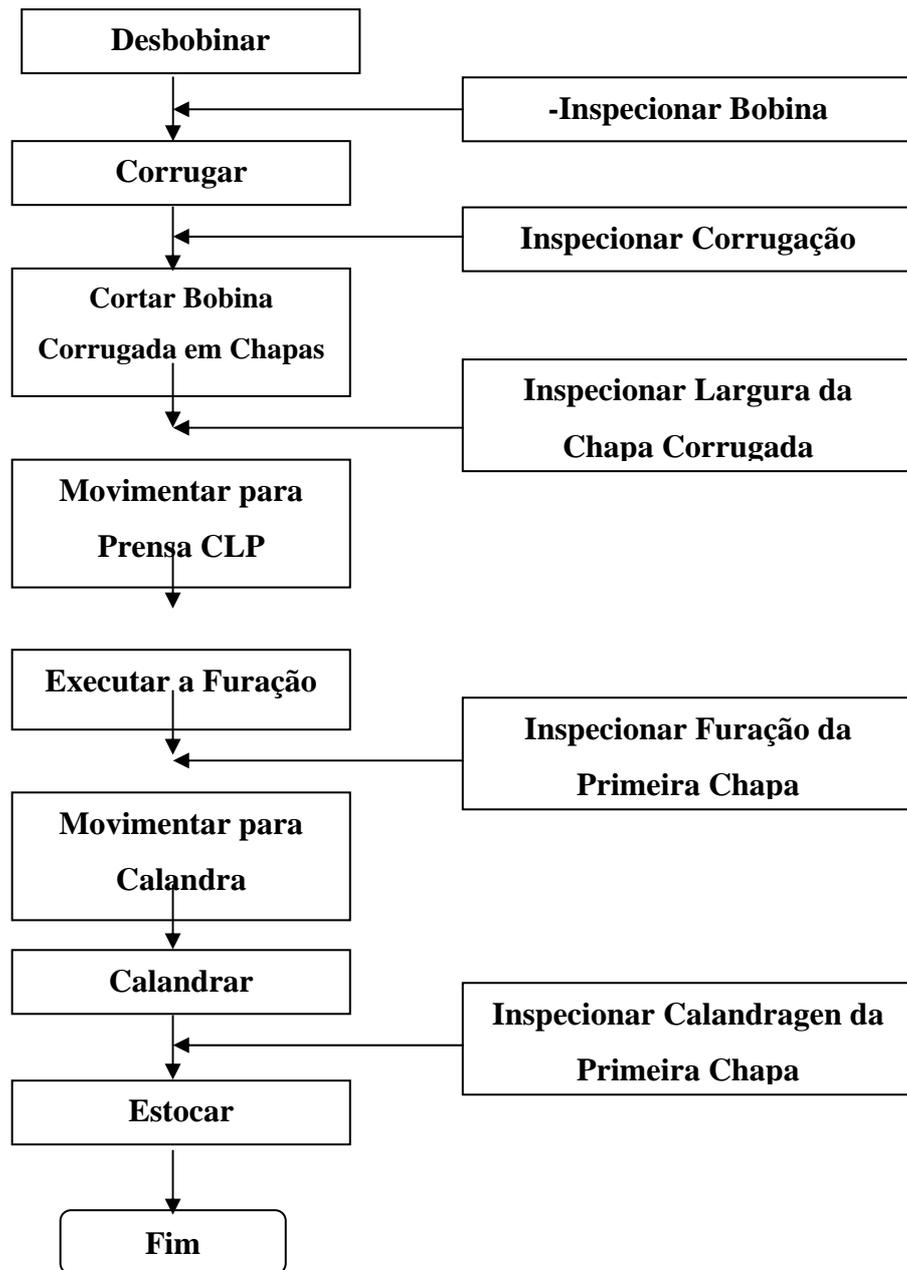
O item 3.1 aborda o processo atual de corrugação e o item 3.2 aborda a identificação das características da qualidade.

3.1 Processo de corrugação de chapas de corpo para silos de grãos da linha de corrugação 4”

A justificativa para a escolha deste entre tantos processos na empresa é a importância das chapas corrugadas, pois as mesmas têm grande participação no peso e no preço de silos de grãos. Silos também têm grande participação no faturamento total da empresa. Além disso, a qualidade da montagem das chapas de corpo dos silos depende da qualidade da corrugação e contribui para a qualidade visual percebida e exigida pelos clientes. Corrugação 4” é o processo que gera ondas através da conformação de chapas lisas, sendo 4” a distância entre as cristas de cada onda. A corrugação gera uma série de ondas, sendo a uniformidade do

espaçamento entre as ondas e a altura das mesmas a característica mais importante a ser controlada, pois as chapas corrugadas posteriormente são furadas, bem como as ondas são sobrepostas quando um silo é montado. A largura e o comprimento das chapas corrugadas também são importantes, pois após a corrugação as chapas são furadas no sentido longitudinal e no sentido lateral. Qualquer variação significativa pode proporcionar problemas de montagem.

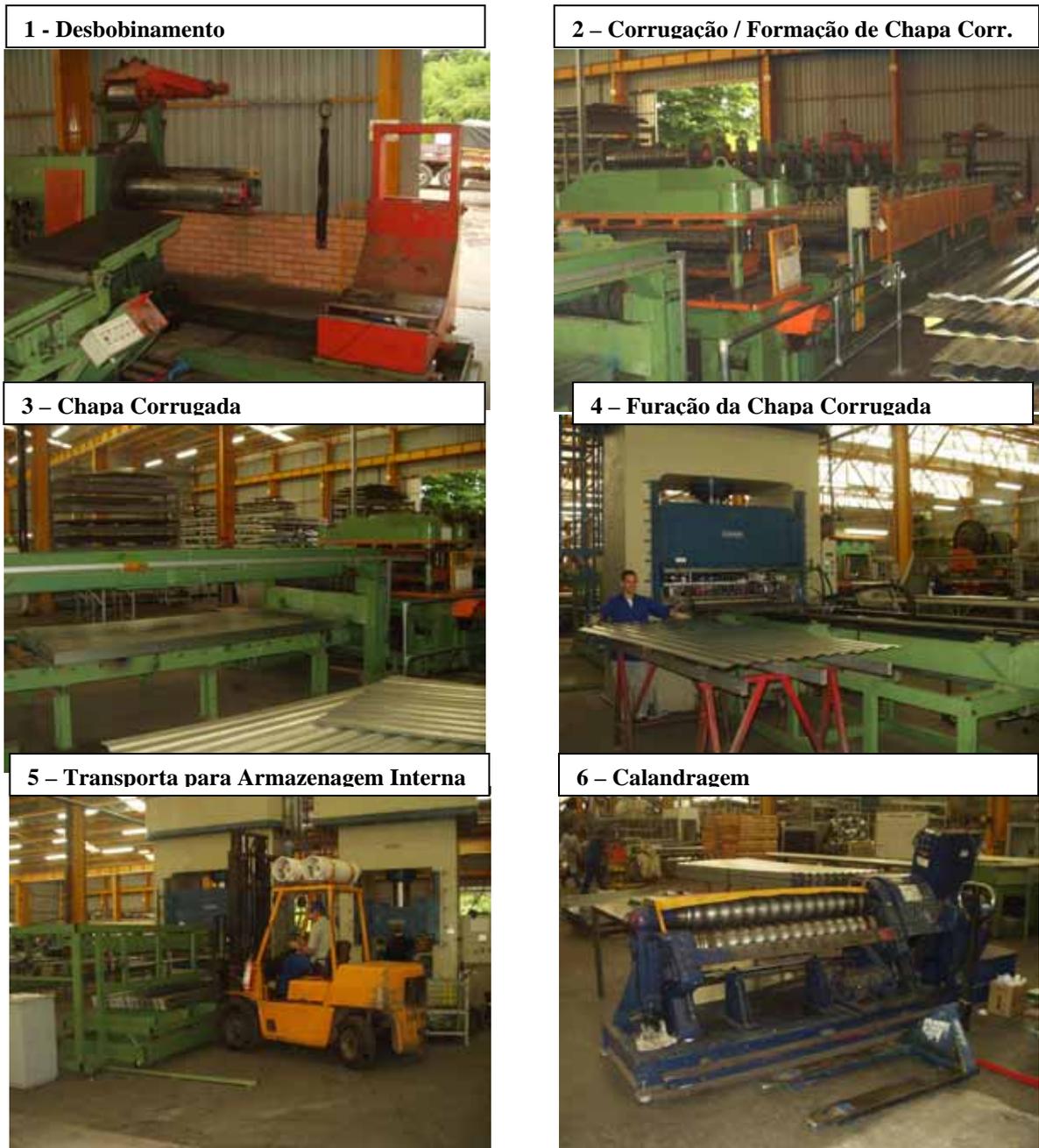
A linha de produtos silos na Empresa utiliza chapas de corpo de diversas espessuras, desde 1,95 mm até 2,70 mm. Como são diversas espessuras, a implantação do CEP, como delimitado no item 1.6, abrange as chapas de corpo de espessura 2,70 mm, pois esta espessura de chapa é utilizada em silos em 60% dos modelos de silos armazenadores e silos-secadores produzidos. Outras partes que compõem silos armazenadores são o teto, piso, enrijecedores e acessórios como portas, escadas e guarda-corpo. O fluxograma do processo de produção de chapas corrugadas de silos de grãos pode ser vista na Figura 17.



Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia Industrial

Figura 17. Fluxograma do processo de produção de chapas de corpo corrugadas 4''

Na Figura 18, pode-se ver a alimentação da máquina corrugadeira através do desbobinamento contínuo, corrugação / corte, furação, descarga de chapas corrugadas furadas e finalmente a calandragem.



Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Produção

Figura 18. Fotos dos principais processos de produção de chapas corrugadas

Na seqüência é apresentada descrição das etapas de desbobinamento, corrugação, corte de chapa, furação, calandragem, armazenagem e sistema de inspeção.

3.1.1 Desbobinamento

É o processo de desenrolar as bobinas recebidas.

3.1.2 Corrugação

A corrugação é o processo de gerar as ondas na chapa zincada desbobinada. As ondulações entre cristas têm a medida de 4” (polegadas), por isso todo o processo de produção das chapas de corpo é chamado de Linha de Corrugação 4”. A conformação de ondulação 4” se dá pelo processo contínuo da chapa passando por uma série de roletes. No início do processo de desbobinamento, antes do primeiro rolete, há um rolete liso que tem a função de fazer o aço voltar ao estado plano logo após iniciar a conformação das ondas.

3.1.3 Corte da Bobina Corrugada em Chapas

Após a conformação das ondas, há uma faca comandada por um CLP (Controlador Lógico Programável) que faz o corte do aço conformado, produzindo então chapas corrugadas na medida especificada em projeto. O desbobinador, a corrugadeira, e a faca de corte final, que produzem chapas corrugadas, estão interligados em um único processo.

3.1.4 Furação

A furação é realizada por uma série de punções, posicionados em uma Ferramenta, comandados por um Comando Lógico Programável. Esta ferramenta é instalada em uma Prensa Hidráulica, que recebe alimentação das Chapas através de um servo alimentador que posiciona a chapa dentro da Ferramenta para executar a furação.

3.1.5 Calandragem

A calandragem é o processo de ondulação das chapas corrugadas furadas. A ondulação é determinada pelo diâmetro do silo de grãos, quanto maior o silo, menor é a ondulação, e quanto menor é o silo, maior é a ondulação.

3.1.6 Armazenagem

A armazenagem pode ser realizada após a furação ou após a calandragem. Se for armazenada após calandragem, a armazenagem deve ser feita colocando-se uma chapa em cima da outra com a onda voltada para baixo, para prevenir acúmulo de umidade e oxidação.

3.1.7 Sistema de Inspeção

A inspeção é realizada em cada processo, desbobinamento, corrugação, corte, furação e calandragem. É utilizado o sistema de Auto-Inspeção, baseado na NBR 5426, pelos próprios operadores em cada processo. A primeira peça deve ser inspecionada sempre, após pelo sistema de auto-inspeção amostral.

A inspeção deve constar dos seguintes cuidados:

Recebimento de Bobinas: Inspeção visual, verifica-se a existência de pontos de oxidação, manchas escuras e riscos. Deve-se medir a largura da bobina.

Corrugação: Verifica-se, no início da corrugação, se os roletes não estão pressionando demais o material, pois isso pode provocar riscos e danos na camada de zinco. A altura dos roletes deve ser verificada, pois cada espessura de chapa determina a altura dos roletes de conformação das ondas. Deve ser verificada a altura da ondulação, pois se as ondas estiverem muito altas, a chapa não entra na Ferramenta de Furação. Inspeção visual e altura das ondas e distância entre ondas com gabarito calibrado.

Corte das Chapas Corrugadas: Verifica-se a largura e o comprimento dos cortes. A largura é determinada pela pressão dos rolos que afeta na altura das ondas e o comprimento é determinado pelo corte quando um dispositivo de medição do comprimento aciona uma Faca de Corte, acionada por um CLP. Inspeção com trena calibrada.

Furação: Deve ser verificado o diâmetro dos furos, cotas entre furos e distância das extremidades da chapa até o primeiro furo. Para isso usa-se um gabarito de inspeção

Calandragem: Deve-se verificar a ondulação ao longo de toda a chapa calandrada. Para isso usa-se um gabarito de inspeção. No processo de calandragem, deve-se passar óleo nas chapas, para evitar oxidação durante a armazenagem até a montagem das obras.

Armazenagem: Armazenam-se as chapas corrugadas antes e depois da calandragem.

Quando armazenadas depois da calandragem, as chapas devem ser armazenadas viradas para cima. Na armazenagem, as chapas devem estar livres de oxidação, mesmo que seja oxidação branca. Esta inspeção é visual.

3.2 Identificação das características da qualidade

As características da qualidade para chapas corrugadas são a largura, o comprimento, o visual das chapas e a furação. Uma definição mais clara destas características pode ser vista na Tabela 6.

Tabela 6. Características da qualidade especificadas e desejadas para chapas corrugadas (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia de Produto)

Características da Qualidade	Descrição
Comprimento das Chapas	O comprimento das chapas corrugadas deve estar dentro da especificação da Engenharia de Produto, pois, se o comprimento for maior, gerará perdas, por ir para o cliente mais chapa em peso do que o necessário. Se for menor provocará dificuldade ou impossibilidade de junção de furação, pois após a corrugação, chapas são unidas nas extremidades através de furos. Se chapas corrugadas estiverem menores e outras maiores, a furação não vai “ casar “, impossibilitando a montagem e/ou gerando chapas corrugadas rejeitadas na Fábrica ou na montagem.
Visual da Chapa	A chapa corrugada deverá estar livre de amassamento e riscos. Amassamentos afetam a qualidade visual. Riscos afetam o visual e a proteção das chapas, visto que são galvanizadas de usina. Riscos provocam perda da camada de zinco, provocando futura oxidação branca e posteriormente oxidação preta.
Largura das Chapas	Nesta característica da qualidade será aplicado o CEP. Das características descritas, esta é a mais importante, pois a largura da chapa corrugada afeta muito a montagem dos silos, já que as chapas são unidas por diversos parafusos, sendo na largura a quantidade de parafusos muito maior que no comprimento. A largura correta da chapa provoca a altura correta das ondas e posterior qualidade da montagem, pois as ondas se sobrepõem umas as outras.
Furação	Na furação são especificadas e desejadas as seguintes características da qualidade: diâmetro correto dos furos, cotas corretas entre furos, tanto no comprimento quanto na largura das chapas.

As características da qualidade e especificações foram definidas pela matriz da GSI nos Estados Unidos da América e pela sua Engenharia de Desenvolvimento de Produto. Uma

descrição breve das características da qualidade desejadas e especificadas para as chapas corrugadas podem ser vistas a seguir.

3.2.1 Identificação dos postos de controle e características da qualidade a serem monitoradas em cada posto

Os postos de controle que foram definidos para o processo de produção de chapas corrugadas e que contribuem diretamente para a qualidade e atendimento às especificações da Engenharia de Desenvolvimento de Produto estão listados a seguir: Recebimento de bobinas e processo de corrugação das chapas após o desbobinamento. Baseando-se na importância deste processo e pelo maior uso de chapas de espessura 2,70 mm na composição de silos de grãos, consensou-se entre Gerente da Qualidade, Gerente de Produção, Coordenador do Setor Estamparia e Técnico de Estamparia a definição dos postos de controle. Os mesmos podem ser vistos na Tabela 7.

Tabela 7. Postos de controle (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

Número do Posto de Controle	Posto de Controle
1	Recebimento de Bobinas
2	Corrugação

3.2.2 Definição dos critérios de classificação dos produtos (filtros)

Para a definição dos critérios de classificação dos produtos (filtros) baseou-se nos postos de controle. Para o posto de controle recebimento de bobinas, definiu-se o filtro largura da bobina com espessura 2,70 mm. Para o processo de corrugação definiu-se a largura da chapa após corrugada e cortada. Outros filtros definidos foram o Operador e Turno.

3.2.3 Descrição das características do processo

Como todos os dados foram medidos, caracterizando-se como dados variáveis, usou-se carta de controle das médias e das amplitudes para o controle do processo e cálculo de capacidade. Na Tabela 8 podem-se ver os postos de controle, filtros, especificações, tipo de

dado, tipo de alvo e tipo de carta que foram definidos.

Tabela 8. Postos de controle, filtros, especificações, tipo de dado, tipo de alvo e tipo de carta (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia de Produto)

Postos de Controle	Filtros	Especificação em milímetros (mm)	Tipo de Dado	Tipo de Alvo	Tipo de Carta
Recebimento de Bobina	Largura de Bobinas de Espessura 2,70 aço ZAR 345 da CSN (ZAR = Zincagem de Alta Resistência)	Largura Especificação = 1200 Tolerância= -10 a +14	Variável	Nominal é melhor	Média e Amplitude
Processo de Corrugação	Largura da Chapa	Largura 1157 Tolerância = - 2 + 15	Variável	Nominal é melhor	Média e Amplitude

3.2.4 Definição do procedimento de coleta de dados

No CEP, os processos apresentam geralmente distribuições de probabilidade normal ou próximo a normal, desta maneira, utiliza-se tamanho de amostra igual 4 ou 5, para cálculo das médias. As amostras eram retiradas nos turnos do dia e da noite, pelos 2 Operadores, sendo coletadas medidas a cada cinco chapas. Também decidiu-se não utilizar na amostragem, as medidas das primeiras chapas corrugadas, pois estas fazem parte da regulagem da corrugadeira.

Para a definição do procedimento de coleta de dados foram utilizadas as seguintes informações: Peso médio de bobinas ZAR 350 com espessura 2,70 mm, peso teórico das chapas corrugadas 1157 mm x 2,70 mm x 2934 mm e a NBR 5426 (Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Atributos). Uma bobina pesa em média 8.300 kg e cada chapa tem seu peso teórico especificado em 76,04 kg, logo, cada bobina tem aproximadamente 110 chapas. Conforme NBR 5426, com tamanho do lote definido em 110 chapas, definidos NQA 2,5 , Nível de Inspeção II e Plano de Amostragem Simples, a norma estabelece 20 como o tamanho da amostra, conforme tabelas 2 a 10 da NBR 5426.

NQA é o Nível da Qualidade Aceitável, ou seja, a máxima porcentagem defeituosa, que, para inspeção por amostragem, pode ser considerada como satisfatória como média de um processo. Foi definido NQA 2,5 por este já estar sendo utilizado na Empresa.

O Nível de Inspeção fixa a relação entre tamanho do lote e tamanho da amostra. Foi utilizado o Nível de Inspeção II por ter poder de discriminação intermediário entre menor poder de discriminação (Nível I) e maior poder de discriminação (Nível III).

Dividindo 110 (tamanho do lote) por 20 (tamanho da amostra), temos como resultado 5,5, que chama-se intervalo de inspeção. Definiu-se então intervalo de coleta de dados como 5, ou seja, uma chapa a cada 5 deveria ser inspecionada para geração dos valores para a carta das médias. Este sistema de inspeção é bem conhecido na Empresa, pois é utilizado desde abril de 2003, como padrão de inspeção e auto-inspeção para liberação ou reprovação de produtos. Foi explicado aos Operadores da Corrugadeira que uma chapa deveria ser inspecionada a cada 5, sendo que cada valor medido deveria ser anotado na carta de controle, e que cinco medidas consecutivas (1 subgrupo) deveriam ser somadas e divididas por cinco. O resultado desta divisão seria um ponto a ser *plotado* na carta de controle das médias. Foi explicado também que dentre as cinco medidas, que geram cada média, deveria ser calculada a amplitude. Os Operadores foram orientados que para o cálculo da amplitude, deveria ser subtraído o maior do menor valor encontrado, *plotando* o resultado na carta das amplitudes.

Os registros dos dados foram feitos através de uma carta de controle modelo padrão, colocada ao lado da corrugadeira, sendo nela anotadas medidas coletadas para o cálculo das médias, amplitude e registrado no verso da carta informações importantes do processo. Após o preenchimento dos dados das cartas, a mesma é enviada para o Engenharia da Qualidade para cálculo de limites de controle e análise de capacidade, bem como para o armazenamento eletrônico com a utilização do MS Excel. Após feitos os cálculos dos limites de controle, estes são passados para as cartas no local de trabalho.

3.2.5 Avaliação do sistema de medição

Uma vez definido o sistema de medição, é necessário avaliar a sua capacidade. Um sistema de medição capaz apresenta uma variância de medição inferior a 10% da amplitude das especificações. Quando houver suspeita a respeito da capacidade de um sistema de medição, ele deve ser analisado através de estudos de Repetibilidade e Reprodutibilidade. Caso os estudos revelem a insuficiência do sistema de medição, planejam-se melhorias no equipamento, revisão de procedimentos ou treinamento dos operadores. A avaliação do sistema de medição

é etapa importante na implantação do controle estatístico do processo, pois define a confiabilidade dos dados a serem utilizados no controle dos processos. A análise do sistema de medição foi feita com trenas utilizadas pelos operadores e com as informações das tolerâncias informadas pela Engenharia de Produto.

As trenas utilizadas para esta inspeção, auto-inspeção bem como a para coleta das medidas que formam as cartas de controle são da marca Starret, de três e cinco metros. Todas as trenas, antes de serem utilizadas, são enviadas para um laboratório da rede metrológica do RS, onde são calibradas, identificadas e entregues para a GSI Agromarau com Laudo de Calibração. Ao receber as trenas, um Analista da Qualidade – Metrologia analisa o Laudo de Calibração da trena, verifica em quais processos a trena será utilizada, compara a incerteza de medição constante no Laudo de Calibração, verifica tolerâncias do processo e conclui se a trena pode ou não ser aprovada para o uso. No processo de corrugação de chapas de 2,70 x 1157 x 2934, a tolerância é de -2 mm a + 15 mm. As trenas Starret de três e cinco metros têm apresentado em média 0,2 mm de incerteza de medição. A menor tolerância para este processo é de -2 mm, logo tem-se uma relação de 1 x 10 entre a incerteza e a medida da menor tolerância. O laudo de uma das trenas (GTR 01) utilizadas para realizar as medidas do processo em questão pode ser visto na Figura 19.

Tabela 9. Medidas encontradas pelos operadores para a análise do sistema de medição em mm (Fonte : GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

Ciclos Horas	Operador 1		Operador 2	
	AM 1	AM2	AM1	AM2
14.06	1179	1179	1179	1179
14:41	1179	1179	1180	1179
14:58	1180	1179	1180	1180
15:20	1179	1180	1179	1179
16:01	1180	1180	1180	1179
16:46	1180	1180	1179	1180

Na Tabela 9 podem-se ver as medidas realizadas pelos operadores. Os operadores 1 e

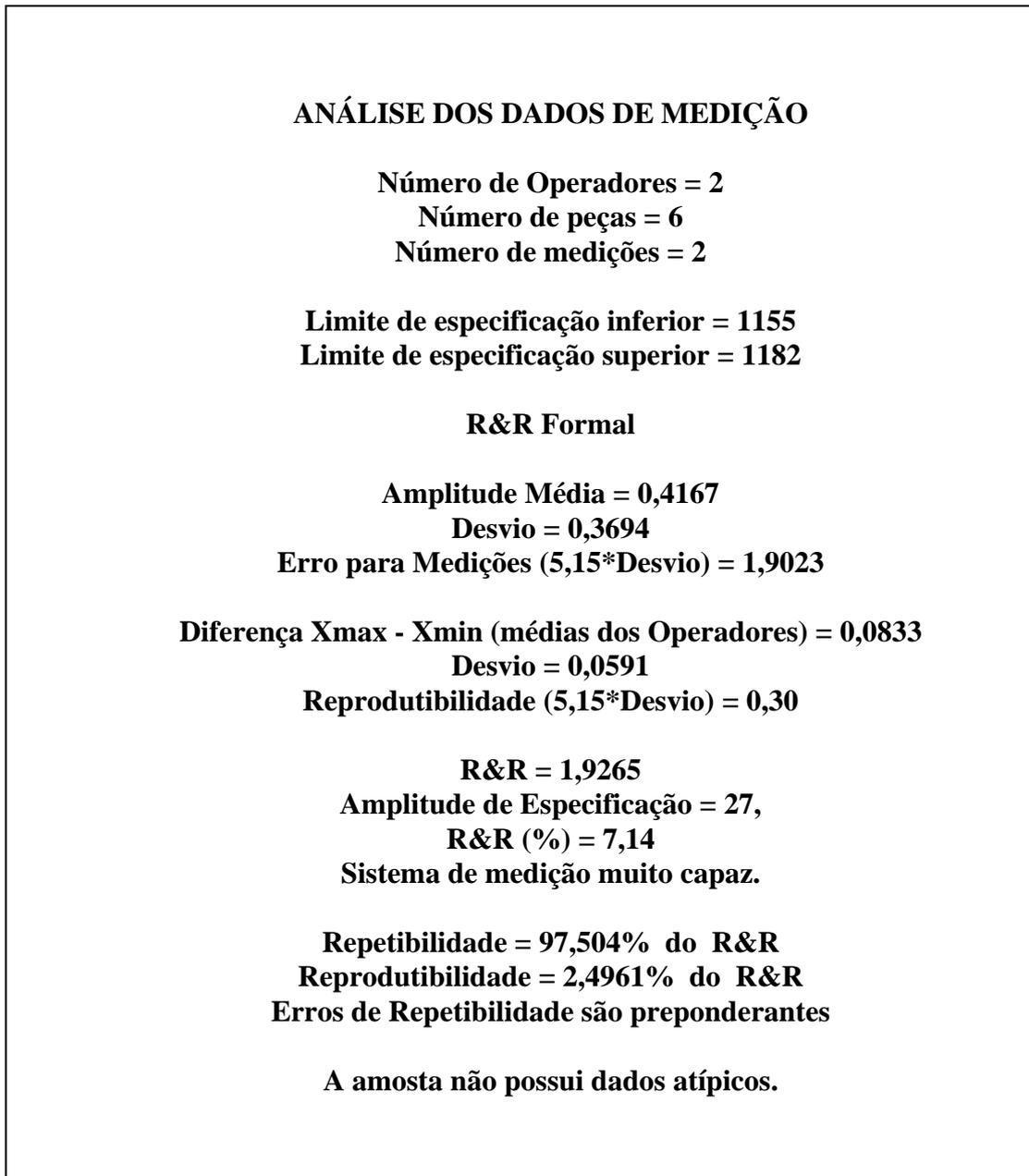
2, que mediram seis chapas diferentes, cada um medindo duas vezes em horários diferentes.

METROSUL - Soluções em Metrologia Ltda. Matriz - Porto Alegre - RS Rua da Varzea, 236 Fone/Fax: (51) 33 45 22 66		Filial - Coxias do Sul - RS Rua Frei Pacifico, 292 Fone/Fax: (54) 224 3442		Certificado de Calibração 20656-2004 11/11/2004	
LABORATÓRIO DIMENSIONAL - FILIADO A REDE METROLÓGICA RS - 3203					
Descrição	: Trena STARRETT			Resolução	: 1mm
Empresa	: T15 - AGRIMARIAU INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.			Capac. Min.	: 0
Endereço	: RS 321-Km 74 - Matsui - RS			Capac. Máx.	: 5000mm
Código	: GTR01				
Procedimento	: NP-008 Revisão 04				
Condições ambientais :TEMPERATURA 20± 1°C UMIDADE: 55± 10%.					
PADRÃO/INSTRUMENTO DE REFERÊNCIA UTILIZADO					
ESCALA DIGITAL MITUTOYO			MÁQUINA DE MEDIÇÃO TRIDIMENSIONAL MITUTOYO		
Código	: CDM001		Código	: MW0001	
Nº Certificado	: 15800-2004		Nº Certificado	: 6904/04	
Validade	: 30/9/2006		Validade	: 18/8/2006	
Laboratório	: METROSUL - Filial à RMRS		Laboratório	: MITUTOYO - RBC 031	
INCERTEZA DE MEDIÇÃO: Incerteza de medição expandida relatada é multiplicada pelo fator de abrangência k, correspondendo a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95 %, determinada de acordo com o EA-4/02 do INMETRO.					
LEGENDA:					
E.I. - Erro da Indicação (M.M. - V.R.)			I.M. - Incerteza da Medição		
V.R. - Valor de Referência			M. M. - Média das medidas.		
ESCALA : EXATIDÃO					
V.R. (mm)	M.M. (mm)	E.I. (mm)	± I.M. (mm)	k	
1000,0	1000,1	0,1	0,2	2	
2000,0	2000,1	0,1	0,2	2	
3000,0	3000,1	0,1	0,2	2	
4000,0	4000,1	0,1	0,2	2	
5000,0	5000,2	0,2	0,2	2	
METROSUL - Soluções em Metrologia Ltda. Home Page: www.metrosul-rs.com.br e-mail: metrosul@metrosul-rs.com.br			Signatário Autorizado  _____ Nilo Gustavo Andals		
Esta Certificação é válida somente para o instrumento calibrado não sendo extensiva a quaisquer outros, mesmo que similares. O certificado de calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem prévia autorização.					Folha 1 / 1

Fonte: Metrosul – Soluções em Metrologia Ltda

Figura 19. Laudo de calibração da trena GTR 01

O sistema de medição para o processo de corrugação de chapas de corpo de silos de grãos de corrugação 4” foi aprovado, com base nos dados R&R e R&R %, conforme Figura 20.



Fonte: Software Repete – Repetitividade e Reprodutibilidade Versão 1.01 – Demonstração

Figura 20. Análise do sistema de medição para o processo de produção de chapas corrugadas 2,70 x 1157 x 2934 mm

3.2.6 Definição de responsabilidades

Após reuniões realizadas entre Gerente da Qualidade, Gerente de Engenharia de Desenvolvimento, Gerente de Produção, Coordenador de Produção e Técnico do Setor Estamparia, e consensada implantação do CEP no processo de corrugação de chapas de corpo de silos de grãos, definiram-se as responsabilidades conforme plano de ação, Tabela 10.

Tabela 10. Plano de ação da implantação do CEP no Setor Estamparia (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

O Que	Quem	Como	Quando
Reunião com os envolvidos na implantação	Gerente da Qualidade	Marcando reunião com todas as pessoas envolvidas na implantação e explicando o que será implementado, objetivos e benefícios para a empresa	Setembro de 2003
Treinamento dos envolvidos na implantação	Gerente da Qualidade	Elaborando treinamento com exercícios sobre Controle Estatístico do Processo	Outubro de 2003
Confecção do modelo das cartas de controle	Coordenador da Qualidade	Definindo com Gerente da Qualidade o modelo e solicitando impressão em gráfica	Setembro de 2003
Início do monitoramento do processo	Gerente da Qualidade	Consensando dia com o Gerente de Produção e o Coordenador do Setor	Outubro de 2003
Acompanhamento diário aos Operadores na 1ª semana de implantação	Gerente da Qualidade e Analistas da Qualidade do Setor	Estando junto com os Operadores da Corrugadeira nos primeiros apontamentos e preenchimento das cartas de controle	1ª Semana de Outubro 2003
Verificação das primeiras cartas de controle	Coordenador da Qualidade	Analisando se os dados foram preenchidos corretamente nas cartas, se os cálculos de média e amplitudes foram corretos e se os pontos foram <i>plotados</i> corretamente.	Final de Outubro de 2003
Armazenamento dos dados em microcomputador	Coordenador da Qualidade	Recolhendo as cartas e digitando e armazenando eletronicamente. Traçando os limites de controle da carta no Setor Estamparia	Outubro de 2003
Geração das cartas das médias e das amplitudes	Coordenador da Qualidade	Digitando os dados e gerando as cartas	Outubro de 2003
Análise do sistema de medição	Gerente da Qualidade e Coordenador	Solicitando medições por parte de dois operadores, realizando os cálculos	Setembro de 2003

	da Qualidade	necessários e concluindo a análise.	
Análise da Estabilidade	Gerente da Qualidade	Analisando as cartas das médias e das amplitudes e concluindo se há causas especiais no processo	Outubro de 2003
Reunião com pessoal envolvido do Depto. Produção	Gerente da Qualidade	Apresentando o resultado da análise de estabilidade e explicando se o processo é estável ou não	Novembro de 2003
Remoção das Causas Especiais	Gerente da Qualidade e Operadores	Analisando o processo e removendo as causas especiais	Novembro de 2003
Acompanhamento do Processo após remoção de causas especiais	Coordenador da Qualidade e Operadores	Analisando desempenho do processo e a incidência de novas causas	Novembro de 2004
Cálculo de capacidade	Gerente da Qualidade	Realizando o cálculo da capacidade e informando a todos os envolvidos	Novembro de 2003
Reunião com pessoal envolvido do Depto. Produção	Gerente da Qualidade	Apresentando o resultado da análise da capacidade e explicando se o processo é capaz ou não capaz	Novembro de 2003
Definição das melhorias a serem implementadas	Gerente da Qualidade, Gerente de Produção, Coordenador e Técnico de Produção	Analisando o processo e definindo melhorias necessárias para tornar o processo capaz	Novembro de 2003
Cálculo de capacidade após melhorias no processo	Gerente da Qualidade	Realizando o cálculo da capacidade e informando a todos os envolvidos	Abril de 2004
Definição de indicadores de desempenho	Gerente da Qualidade e Gerente de Produção	Definindo os indicadores para monitoramento do processo e acompanhamento quantificado proporcionado pelas alterações do processo e redução da variabilidade	Setembro de 2003
Levantamento de dados de perdas da má qualidade	Coordenador da Qualidade	Conseguindo os valores em R\$ e quantidade de perdas (Sucata, refugo referente a chapas corrugadas)	Início em Outubro de 2003
Implantação do indicadores de desempenho	Coordenador da Qualidade	Disponibilizando os gráficos no Setor Estamparia, coletando dados e elaborando gráficos	Setembro de 2003
Acompanhamento diário das cartas de controle das médias e amplitudes	Operadores, Coordenador da Qualidade e Analistas da Qualidade	Diariamente acompanhando o processo, lançando os dados nas cartas, calculando as amplitudes, calculando os limites de controle, atualizando as cartas do Setor Estamparia com os limites de controle e armazenando os dados eletronicamente.	1ª Semana de Outubro de 2003

Ficou determinado que, quando o processo estivesse fora de controle devido ao surgimento de causas especiais, os Operadores da corrugadeira e o Técnico do Setor Estamparia deveriam parar o processo, analisá-lo, removendo imediatamente causas especiais. As melhorias no processo sob controle, visando a melhoria da capacidade foram e devem ser estudadas e realizadas por Gerente da Qualidade, Coordenador de Produção, Gerente de Produção, Operadores da corrugadeira e Técnico da Estamparia.

Foi criado um grupo de apoio para a implantação do CEP, sendo sua função, ministrar treinamentos, acompanhar a implantação, acompanhar a fase inicial da implantação e dirimir dúvidas que surgiram durante a implantação. Este grupo de apoio é formado por: Gerente da Qualidade, Coordenador da Qualidade e Analistas da Qualidade.

3.2.7 Definição da documentação necessária

Toda a documentação referente às cartas de controle e registro das perdas da má qualidade em um indicador de desempenho específico, bem como os responsáveis por ações necessárias para o bom andamento do CEP, foram definidas e documentadas em procedimento do sistema de gestão da qualidade GSI Agromarau.

Quanto às ações decorrentes de causas especiais, bem como anotações importantes, decidiu-se registrá-las no verso das cartas de controle. Ao verso da carta de controle deu-se o nome de diário de bordo. O diário de bordo tem o objetivo de identificar a origem de problemas e ação tomada pelo Operador.

3.2.8 Treinamento em CEP

O treinamento foi ministrado aos colaboradores da Engenharia da Qualidade e aos Colaboradores do Setor Estamparia, bem como ao Gerente de Produção, Coordenador de Produção e Técnico de Estamparia. O treinamento teve base teórica e prática, tendo o seguinte conteúdo programático: histórico do controle da qualidade no mundo; conceito de estatística e sua importância; conceito de variância, conceito de processo e sua importância; conceito de controle estatístico do processo, seus objetivos e importância; compreendendo e entendendo variância nos processos; conceito de cartas ou gráficos de controle; os tipos de cartas de controle; o que são causas comuns e especiais de variação, cartas de controle das médias e das amplitudes; cálculo dos limites de controle para as cartas das médias e das amplitudes; o que

é capacidade de processo e como se calcula; exercícios sobre interpretação de cartas de controle das médias; exercício de cálculo dos limites de controle, conceitos básicos de sistemas de medição e acompanhamento no local de trabalho aos Operadores da corrugadeira sobre o preenchimento das cartas e análise dos dados reais do processo. A este treinamento foi dado o nome de CEP Básico.

Além do treinamento CEP Básico, foi ministrado o treinamento CEP Intermediário ao Coordenador da Engenharia da Qualidade, Analistas da Qualidade do Setor Estamparia e Analista de Treinamento. O treinamento CEP Intermediário foi formado pelo CEP Básico mais análise de estabilidade, cálculo de capacidade, análise e cálculo de sistemas de medição.

Foi definido que a Engenharia da Qualidade é responsável pelo suporte aos Operadores de corrugadeira e desbobinadeira, bem como ao Gerente de Produção, Coordenador de Produção e Técnico de Estamparia. Este suporte implica treinamentos necessários, cálculo dos limites de controle, cálculo da capacidade, armazenamento eletrônico dos dados das cartas de controle e orientação e definição da capacidade do sistema de medição.

4 IMPLANTAÇÃO E RESULTADOS

4.1 Implantação

Por iniciativa do Gerente da Qualidade, deu-se a implantação do CEP na Agromarau. Iniciativa esta motivada pelo desejo utilizar o CEP como ferramenta de melhoria para conhecer a variabilidade e as perdas da má qualidade, no processo de corrugação de chapas de corpo de silos de grãos, propondo melhorias para a redução da variabilidade e redução das perdas da má qualidade.

Com estes objetivos em mente, o Gerente da Qualidade convocou uma reunião com o Diretor Geral e com o Gerente de Produção, quando expôs os objetivos acima e fez uma breve explanação sobre o CEP, seus objetivos e ganhos que poderiam ser alcançados com sua implementação. Nesta reunião, por sugestão do Gerente da Qualidade, ficou acordado que o CEP deveria ser implantado no Departamento de Produção. Esta indicação foi dada devido ao CEP ser mais utilizado em indústrias, devido a necessidade de a empresa conhecer melhor o desempenho dos processos de produção e pela necessidade de melhorar os processos, visto que o CEP é considerado como uma ferramenta de melhoria. Tanto Diretor Geral como o Gerente de Produção aprovaram a implantação, ficando a cargo do Gerente da Qualidade e do Gerente Industrial decidir em que processo deveria ser implementado o CEP.

Para definir em que processo deveria ser implementado o CEP no Departamento de Produção, o Gerente da Qualidade sugeriu ao Gerente de Produção que fosse realizada uma reunião com os Coordenadores e Técnicos da Produção. Nesta reunião, coordenada pelo Gerente da Qualidade, este explicou o que é o CEP e após foi-se indagando quais os produtos mais importantes, quais os que tinham perdas, quais os produtos que contribuíam significativamente com o faturamento da Empresa, quais aqueles que necessitavam de melhorias e quais os produtos que necessitavam de acompanhamento e controle no processo.

Discutido o assunto e analisados os pontos acima, ficou consensado que o CEP deveria ser implementado na linha de produção de chapas de silos de grãos de corrugação 4”, sendo que os detalhes da justificativa estão descritos do item 1.3.

Definido o processo, o Gerente da Qualidade, solicitou outra reunião, agora com o

Coordenador do Setor Estamparia, com o Técnico do Setor Estamparia, com os Operadores da Corrugadeira, com Gerente da Engenharia de Produto e com Engenheiro de Produto responsável pelos silos GSI Agromarau. Nesta reunião, que foi realizada no Setor Estamparia, ao lado da máquina corrugadeira, foi analisado todo o processo, desde o recebimento de bobinas, desbobinamento, corrugação e corte da chapa corrugada. Após analisaram-se as características da qualidade das chapas corrugadas, concluindo-se que as características importantes são comprimento, largura, visual, furação e ondulação (cotas entre as cristas das ondas e altura das ondas). Para mais detalhes das características da qualidade, ver Tabela 6 e Tabela 8. Ficou definido que a característica da qualidade mais importante a ser monitorada deveria ser a largura das chapas corrugadas. Foram estabelecidos também dois postos de controle, para utilização das cartas de controle. Um posto de controle no processo de desbobinamento (Posto 1) e outro posto de controle no processo de corrugação (Posto 2).

Iniciaram-se em setembro de 2003, as duas fases a seguir:

a) Início do Monitoramento

Nesta etapa, em outubro de 2003, definiu-se a data de início da coleta de dados a serem utilizados, bem como os responsáveis pela coleta e preenchimento das cartas de controle, Nesta etapa, os dados foram coletados e *plotados* nas cartas de controle, sem a definição dos limites de controle e linha central. Detalhes do procedimento de coleta de dados estão descritos no item 3.2.4.

b) Cálculo da Linha Central e dos Limites de Controle

Após a coleta e o preenchimento de uma primeira carta de controle, o cálculo dos limites de controle e da linha central foram feitos pela Engenharia da Qualidade, com auxílio do MS Excel. Uma vez calculados, estes foram acrescentados às cartas de controle permitindo a sua utilização plena. Os Limites de Controle e Linha Central, calculados a partir do processo com apenas causas comuns presentes, foram utilizados no monitoramento futuro do processo.

4.2 Estudos de estabilidade e capacidade

Após coletados os dados e calculados os limites de controle, iniciou-se outro período de coleta de dados, que teve início em outubro a novembro de 2003. A análise de estabilidade dos postos de controle 1 e 2 foi realizada nos próprios postos de controle pelos Operadores

responsáveis pelo preenchimento das cartas, treinados para interpretar as cartas e identificar causas comuns e especiais, juntamente com o Gerente da Qualidade. O acompanhamento e consolidação do controle estatístico do processo compreendeu as seguintes etapas:

4.2.1 Análise de estabilidade

Nesta etapa, avaliou-se a estabilidade do processo e, quando da existência de causas especiais, adotaram-se procedimentos de identificação e eliminação destas causas.

4.2.1.1 Posto de controle 1- antes do refilamento das bobinas

As cartas de controle do Posto de Controle 1, desbobinamento, que monitora a largura das bobinas ZAR 345 2,70 mm x 1200 mm, da CSN, podem ser vistas nas Figura 21 e 22. A carta das médias apresentou um processo fora de controle, devido a vários pontos fora dos limites de controle, tanto superior quanto inferior, conforme Figura 21. Na carta de controle das amplitudes, Figura 22, pode-se ver que o processo não apresenta causas especiais.

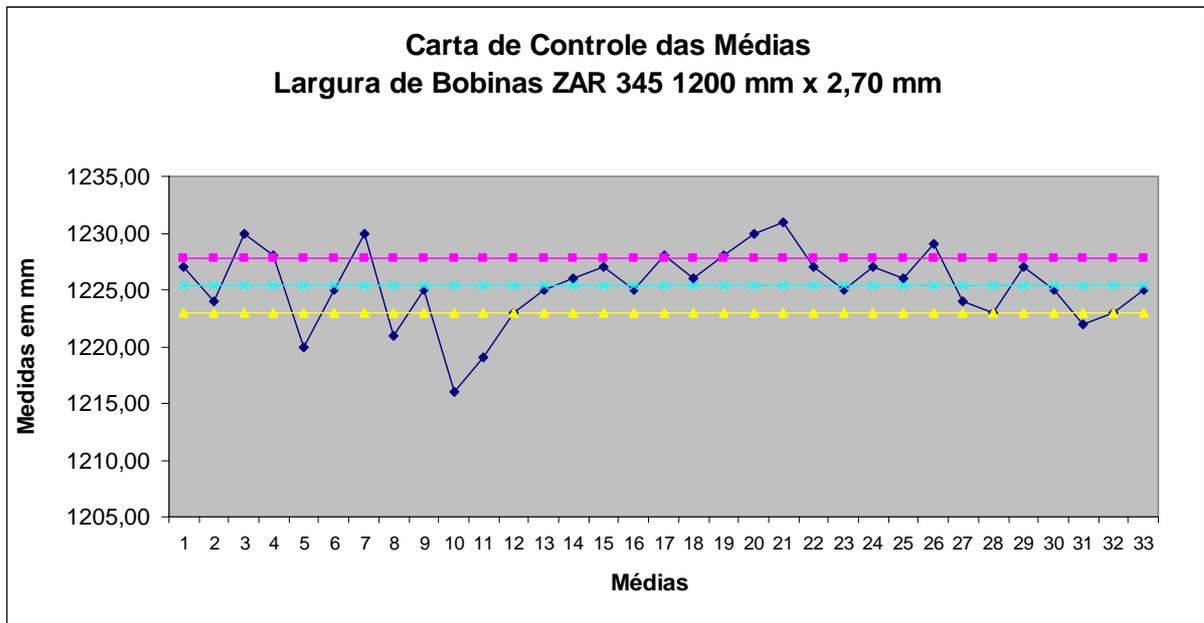
Surgiu um problema: as bobinas entregues pela CSN apresentaram medidas da largura muito além da especificação. A largura nominal informada pela CSN é 1200 mm, mas em média, as bobinas apresentavam 25 mm a mais que a especificação. Porém, as normas NBR 11.888 e ASTM A635 apresentam respectivamente tolerâncias de 25 mm e 28 mm para a largura, logo, não foi possível devolver bobinas.

Em função da largura das bobinas entregues além da especificação, não foi possível qualquer ação para eliminação das causas especiais pelos Operadores.

Tabela 11. Limites de controle para as cartas de controle das médias e da amplitudes das bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm sem bordas refiladas (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade.)

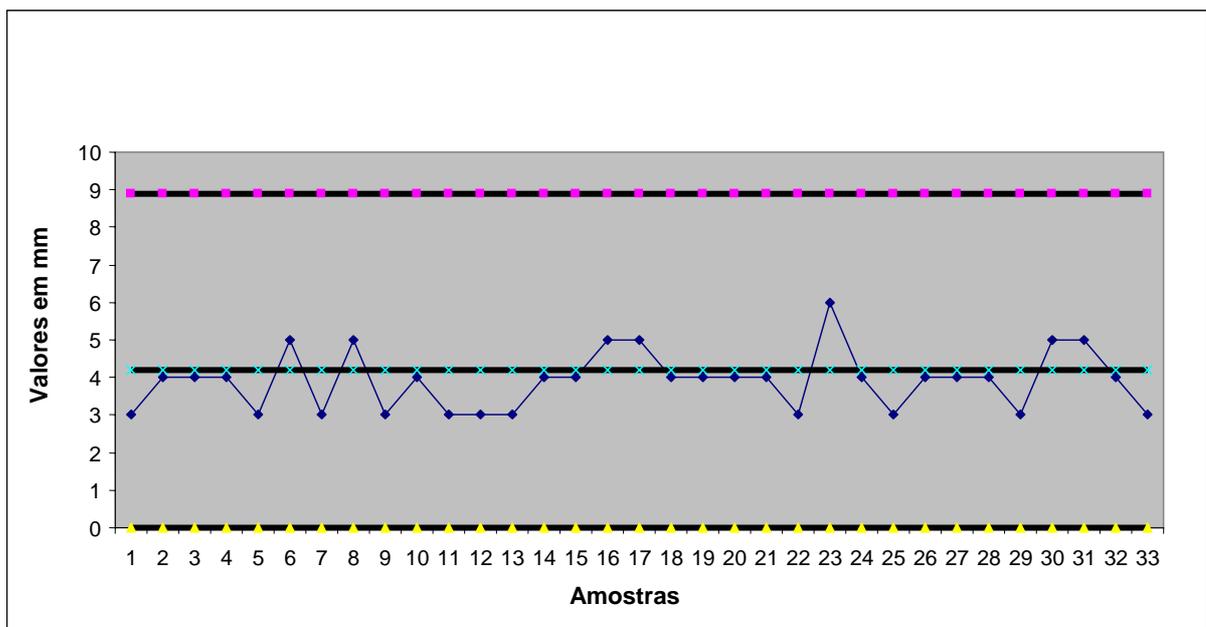
Carta da Amplitudes:	Carta de Controle das Médias
LCS = 8,91mm	LCS = 1.227,79 mm
LCI = 0,00 mm	LCI = 1.222,93 mm
LM = 4,21 mm	LM = 1.225,36 mm

Na Tabela 11 podem-se verificar os limites de controle da carta das amplitudes e das médias, referente à largura das bobinas ZAR 345 2,70 mm x 1200 mm.



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 21. Carta de controle das médias - Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200mm sem bordas refiledas



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 22. Carta de controle das amplitudes - Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm

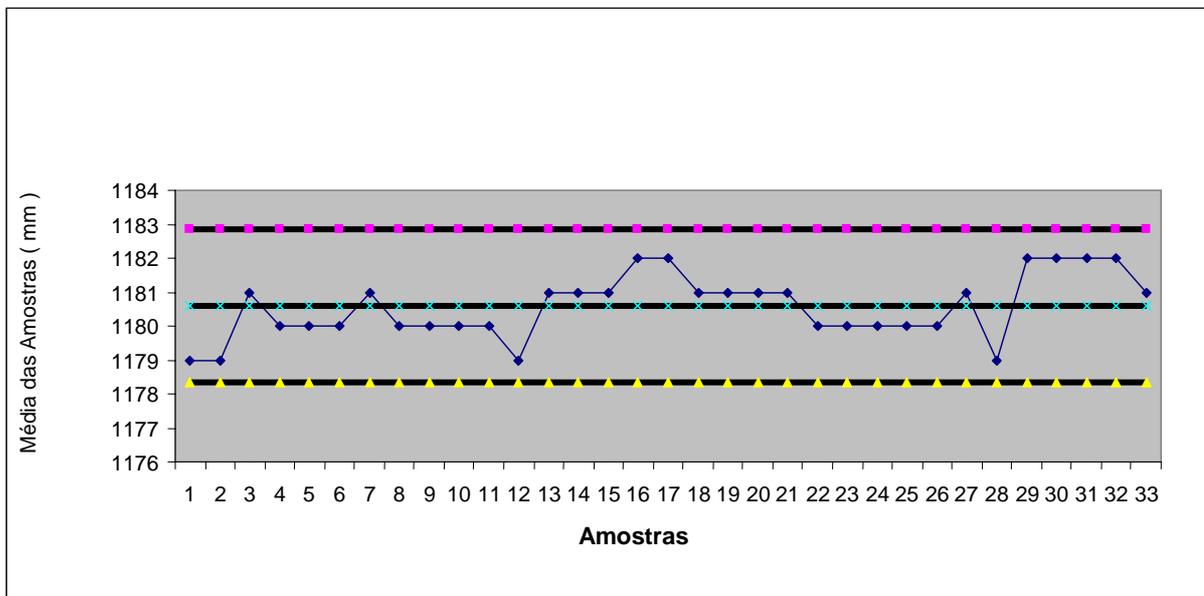
4.2.1.2 Posto de Controle 2 – antes do refilamento das bobinas

As cartas de controle das médias e das amplitudes para o processo de largura da chapa corrugada ao final da corrugação no período de análise inicial podem ser vistas nas Figuras 23 e 24. Conforme Figura 23, pode-se ver que o processo está fora de controle estatístico, pois possui causas especiais caracterizadas por nove pontos seqüenciais acima da linha média.

Na Tabela 12, pode-se verificar os limites de controle da carta das amplitudes e das médias referente a largura das chapas corrugadas ZAR 345 2,70 x 1157 x 2934 mm, de bobinas sem bordas refiladas.

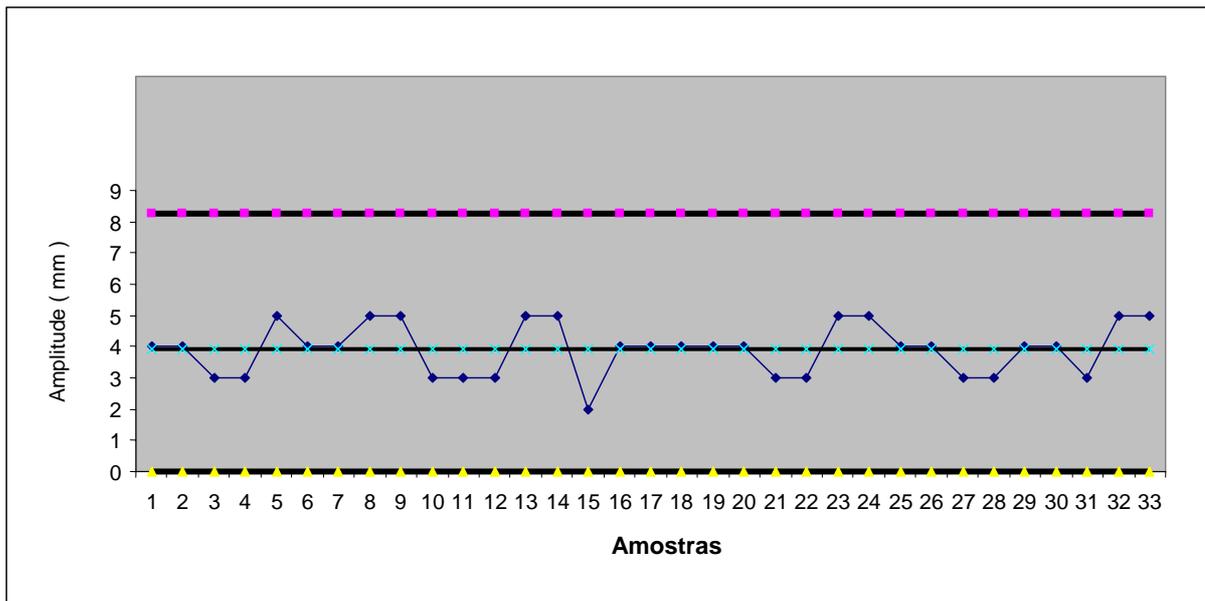
Tabela 12. Limites de controle para as cartas das médias e das amplitudes das chapas corrugadas de bobinas sem bordas refiladas (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

Carta da Amplitudes:	Carta de Controle das Médias
LCS = 8,27 mm	LCS = 1.182,73 mm
LCI = 0,00 mm	LCI = 1.178,05 mm
LM = 3,91 mm	LM = 1.180,00 mm
	Desvio Padrão = 1,63mm



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 23. Carta de controle das médias - Largura das chapas corrugadas com bobinas sem bordas refiladas.



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 24. Carta de controle das amplitudes - Largura das chapas corrugadas com bobinas sem bordas refileadas

A causa especial detectada pelos Operadores foi o excesso de largura das bobinas. Uma primeira ação foi de parar a máquina e regular os roletes para compensar o excesso de largura das chapas corrugadas. Com o passar do tempo e experiências realizadas, os Operadores perceberam que a calibragem dos roletes, para atender a especificação da largura das chapas corrugadas, era conseguida se a largura das bobinas tivesse em média 1214 mm. Esta informação foi passada pelos Operadores ao Técnico de Estamparia e Coordenador de Produção. Até regular a máquina, perdiam-se em média 4,4 chapas, por riscos nas mesmas, provocados por excesso de atrito dos roletes no desbobinamento, larguras excessivas após a chapa corrugada, altura excessiva das ondas e excesso de tensão nas chapas corrugadas. Outra ação foi de montar um procedimento de regulagem da altura dos roletes para a chapa 2,70 mm de espessura e treinamento no local de trabalho para os dois Operadores.

Na Tabela 13, podem-se verificar as perdas provocadas pela tentativa de compensar o excesso de largura das bobinas.

Tabela 13. Demonstrativo de perdas de chapas devido à calibração da corrugadeira (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

Descrição da Perdas com Calibração do Roletes da Corrugadeira	Valores
Número médio de chapas refugadas para calibrar a altura dos roletes e a largura das chapas corrugadas	4,4 por bobina
Peso médio por Chapa (1157 x 2,70 x 2934)	76,04
Preço de Custo do kg de aço ZAR 345	2,41
Perda para Calibrar Corrugadeira (considerando 4,4 chapas)	R\$ 806,33
Número de Bobinas ZAR 2,70 consumidas por mês	4
Total da Perda em Chapas para Calibrar Corrugadeira	R\$ 3.225,31 por mês

As perdas demonstradas na Tabela 13 foram analisadas pelo Gerente da Qualidade, Gerente de Produção, Gerente de Engenharia Industrial, pelo Coordenador de Produção, pelo Técnico da Estamparia e pelos Operadores da corrugadeira. Desta análise, os mesmos concluíram, por consenso, que as bobinas precisariam ser refiledas ou fornecidas pela usina com um dimensional de largura de melhor qualidade. O Gerente de Compras contactou com a área comercial da usina e solicitou qual o percentual sobre o preço atual para bobinas de bordas aparadas. A usina informou um acréscimo de 7% sobre o preço atual. Esta opção não foi aceita pelo Departamento Comercial, pois o aumento de 7% nas bobinas não poderia ser repassado para o preço de venda dos silos. Foi decidido pelo refileamento em um fornecedor de Caxias do Sul. Esta decisão foi tomada por consenso entre Gerente de Logística, Gerente de Produção e Gerente de Compras. Também foi feita reunião com o Gerente da Qualidade, Analistas da Qualidade e Operadores da Corrugadeira e Desbobinadeira, onde ficou definido que antes do desbobinamento, os Operadores deveriam medir a largura das bobinas e observar a largura durante o desbobinamento.

Foi incluído, no Plano de Verificação do Produto Adquirido, que bobinas provenientes das CSN, com largura superior a 1214 mm deveriam ser reprovadas para o uso, sendo necessário o envio para refileamento em fornecedor da Empresa. Também foi incluída neste plano a inspeção das bobinas provenientes de fornecedor do refileamento.

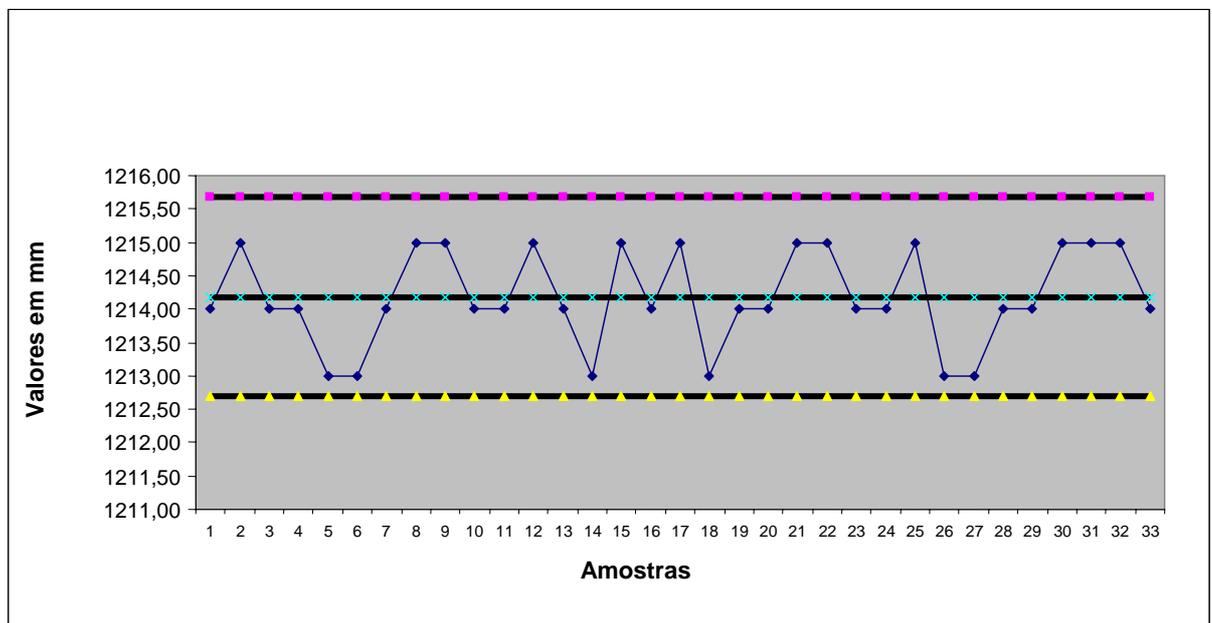
4.2.1.3 Posto de controle 1- depois do refileamento das bobinas

As cartas de controle das médias e das amplitudes para o Posto de Controle 1, desbobinamento de bobinas com bordas refileadas, podem ser vistas nas Figuras 25 e 26.

Tabela 14. Limites de controle para as cartas de controle das médias e das amplitudes das bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm com bordas refileadas (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

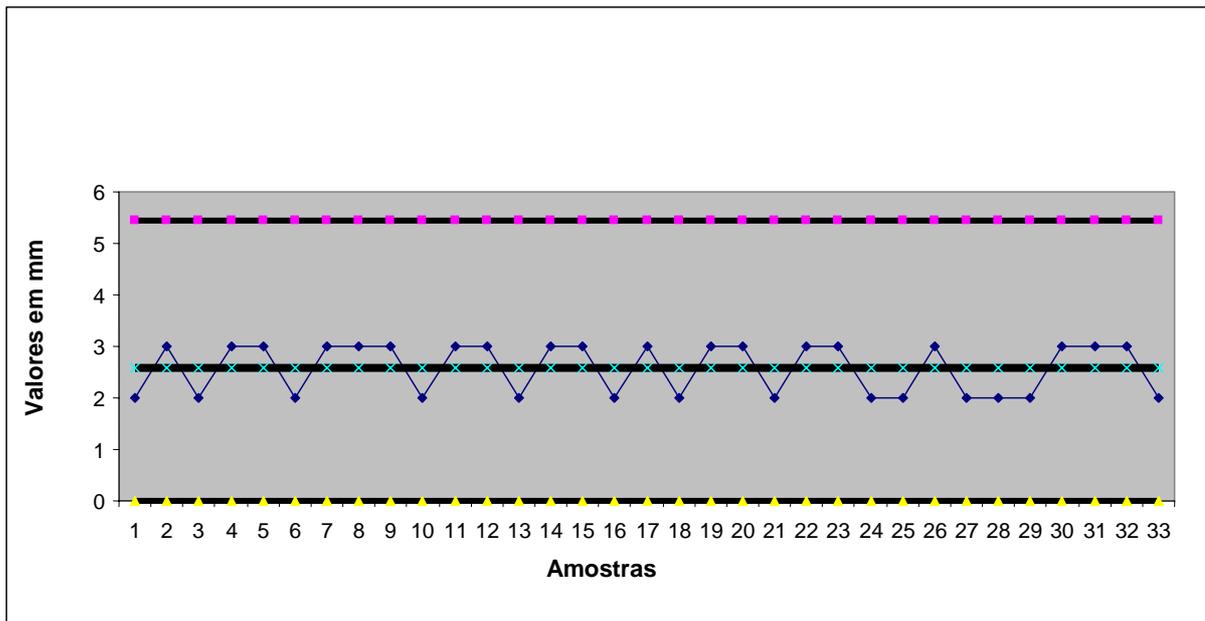
Carta da Amplitudes:	Carta de Controle das Médias
LCS = 5,45 mm	LCS = 1.215,67 mm
LCI = 0,00 mm	LCI = 1.212,70 mm
LM = 2,57 mm	LM = 1.214,18 mm

Na Tabela 14 podem-se verificar os limites de controle da carta das médias e das amplitudes, referente a largura das bobinas ZAR 345 2,700 x 1.200 mm após o refileamento.



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 25. Carta de controle das médias - Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm com bordas refileadas



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 26. Carta de controle das amplitudes - Largura de bobinas ZAR 345 2,70 x 1200 mm com bordas refiladas

A análise do processo do Posto de Controle 1, desbobinamento de bobinas com bordas refiladas, mostra que a largura das bobinas está sob controle estatístico por não apresentar causas especiais, como se pode verificar nas Figuras 25 e 26 .

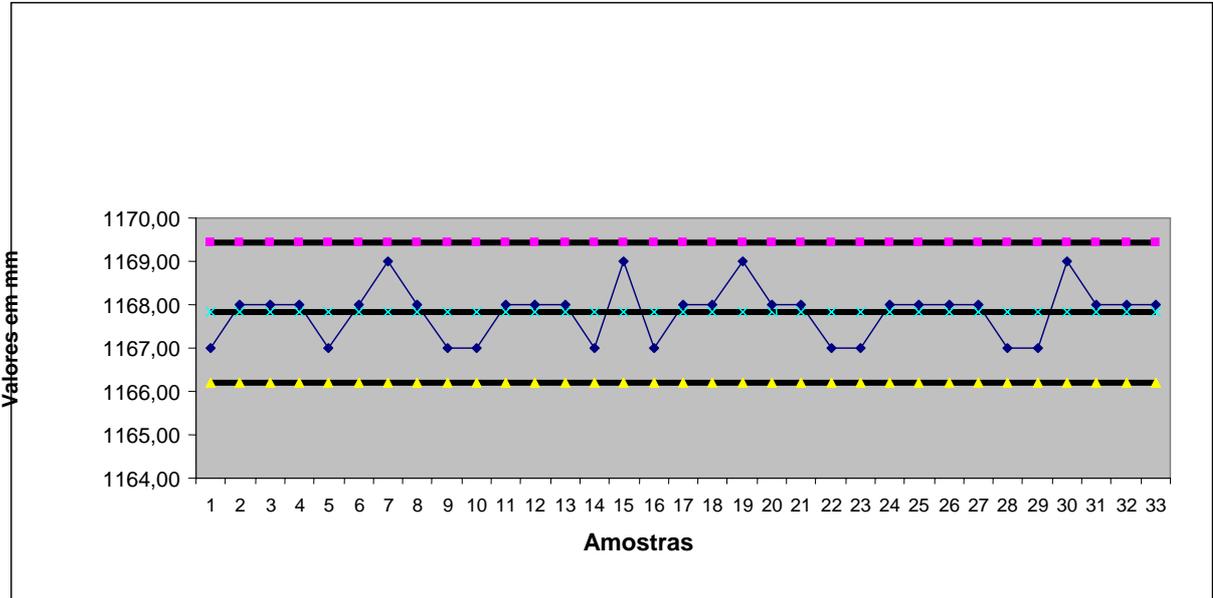
4.2.1.4 Posto de Controle 2- Depois do Refilamento das Bobinas

Pode-se verificar nas Figuras 27 e 28 as carta de controle das médias e das amplitudes para o Posto de Controle 2, corrugação de chapas com bobinas de bordas refiladas.

Tabela 15. Limites de controle para as cartas das médias e das amplitudes das chapas corrugadas de bobinas com bordas refiladas (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

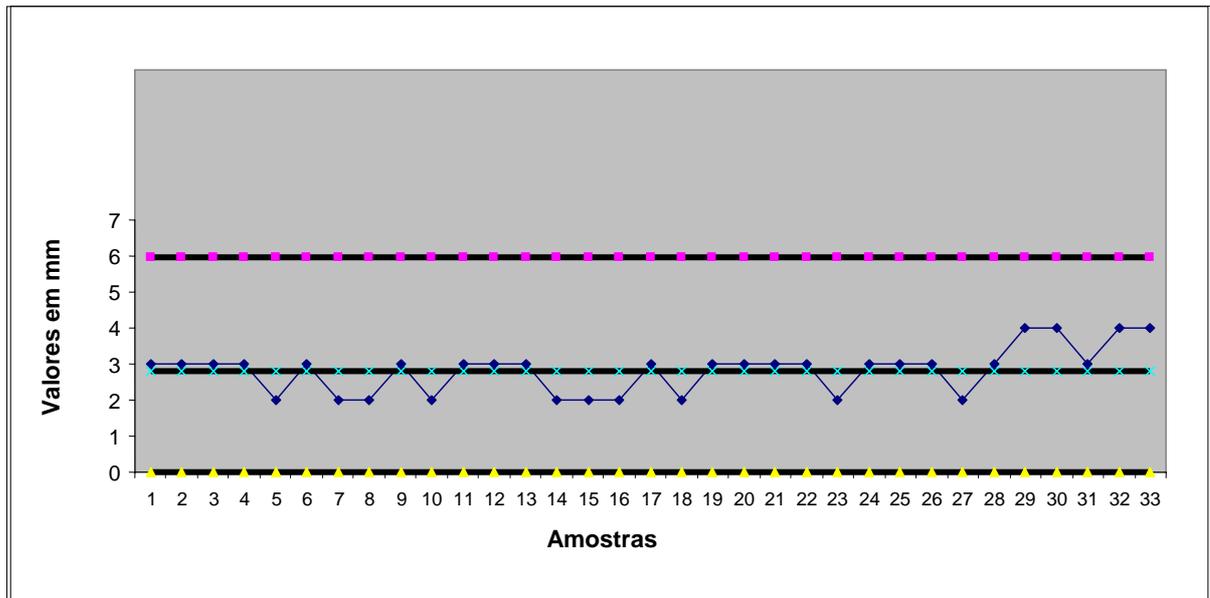
Carta da Amplitudes:	Carta de Controle das Médias
LCS = 5,96 mm	LCS = 1.169,47 mm
LCI = 0,00 mm	LCI = 1.166,20 mm
LM = 2,82 mm	LM = 1.167,83 mm
	Desvio Padrão = 1,14 mm

A Tabela 15 apresenta os limites de controle da carta das médias e das amplitudes das chapas corrugadas com as bobinas de bordas refileadas.



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 27. Carta de controle das médias - Largura das chapas corrugadas com bobinas com bordas refileadas



Fonte: Software MS-Excel, Departamento de Engenharia da Qualidade.

Figura 28. Carta de controle das amplitudes - Largura das chapas corrugadas com bobinas com bordas refileadas

A análise das cartas de controle das médias e das amplitudes das chapas corrugadas, formadas de bobinas refiladas com em média 1.212,70 mm de largura, conforme Tabela 14 e Figura 25, mostrou um processo sob controle estatístico, não havendo causas especiais de variação. Com a redução da largura das bobinas através do refilamento, pôde-se produzir chapas corrugadas com em média 1.166,19 mm de largura, conforme Figura 27 e Tabela 15, desta maneira reduziu-se a variabilidade, e as chapas ficaram dentro dos limites de especificação determinados, $-2\text{mm} + 15\text{ mm}$.

Com as ações de treinamento de Operadores na corrugadeira, conscientização dos mesmos sobre a importância do monitoramento das bobinas para a estabilidade e qualidade do processo, bem como conhecimento das perdas, ele se tornou bastante estável, e dificilmente saiu do controle estatístico. Houveram casos em que foi necessário o uso de bobinas com mais de 1216 mm de largura, devido à necessidade de entrega urgente de material e níveis baixos de estoque que não permitiram o envio das bobinas para refilamento. Quando isto aconteceu, o Gerente e Coordenador de Produção autorizaram o processamento. Não conformidades foram registradas e no diário de bordo das cartas de controle ficou registrado o processamento de bobinas com largura superior a 1214 mm de largura.

4.2.2 Análise de capacidade

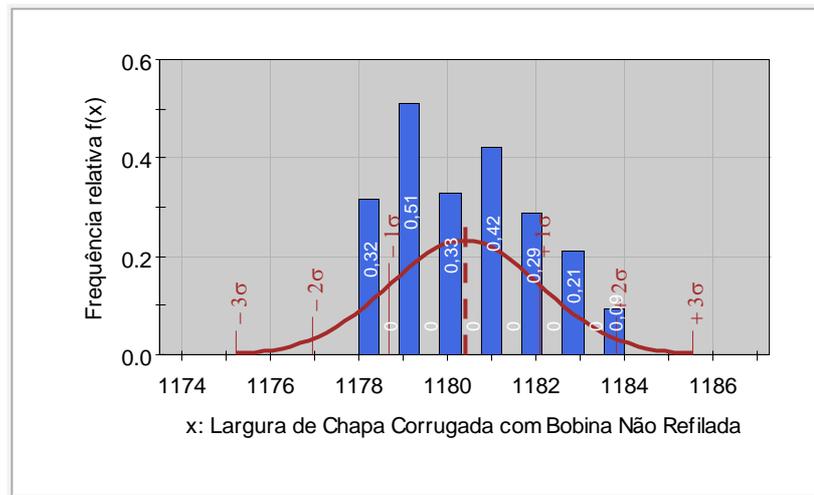
Para os cálculos de capacidade foram removidas as causas especiais existentes.

Nessa etapa, avaliou-se a capacidade do processo antes e depois das melhorias implantadas na produção de chapas corrugadas 2,70 x 1157 x 2934 mm, com ondulação 4 polegadas. A tolerância da largura da chapa corrugada, especificada pelo Departamento Engenharia do Produto é de $-2 + 15\text{mm}$.

Durante a análise da capacidade, concluiu-se que a distribuição dos dados rejeitava a hipótese de que a população segue modelo Normal, caracterizando-se a distribuição como assimétrica a direita. Desta maneira não se faz necessária a análise da capacidade pelo índice C_p , que avalia a capacidade potencial do processo. O C_p pode ser usado para características da qualidade nominal-é-melhor, supondo que as variáveis provém de uma distribuição normal. Assim sendo, realizou-se a análise da capacidade pelo índice C_{pk} , que mede a capacidade real do processo.

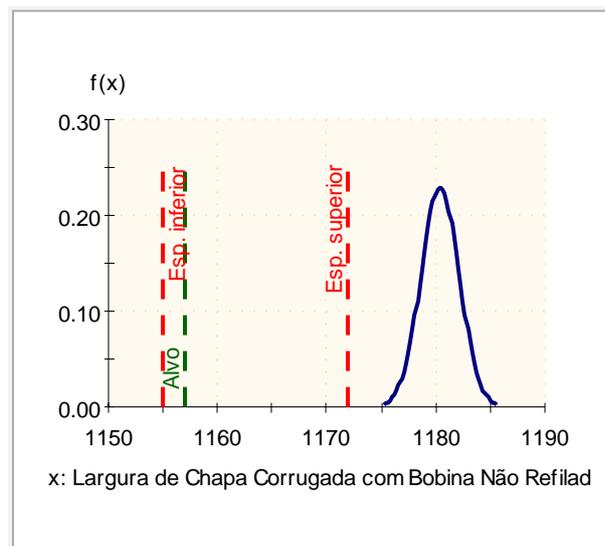
4.2.2.1 Cálculo da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas sem bordas refileadas.

Na figura 29, se pode verificar a distribuição dos dados no histograma, para as chapas produzidas com bobinas sem as bordas refileadas. A hipótese de que a população segue o modelo normal é rejeitada no teste de normalidade. A distribuição se caracteriza como assimétrica a direita.



Fonte: Software ProCep 2000 Versão 3.2

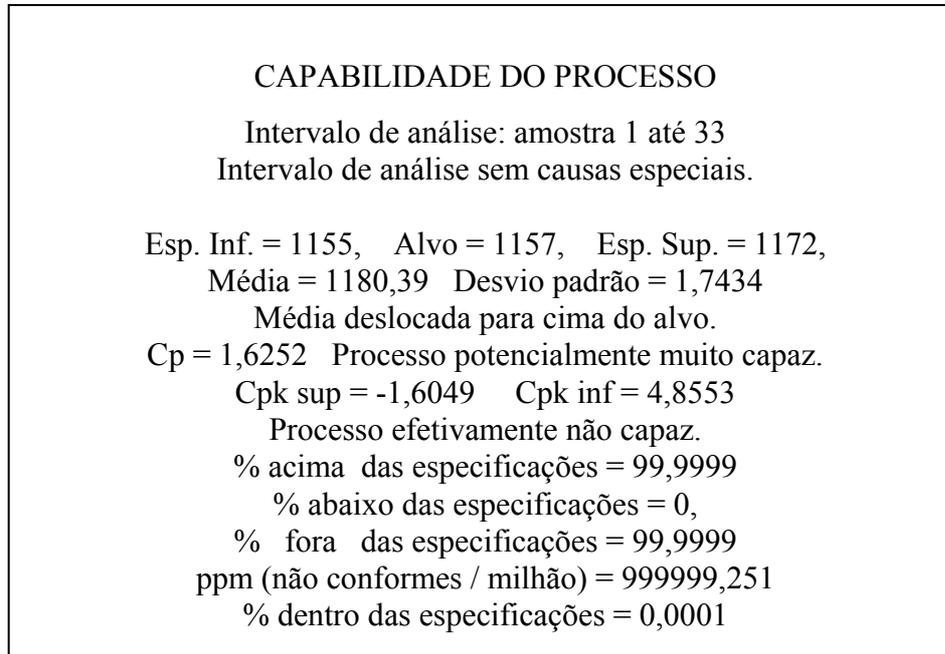
Figura 29. Diagrama de Coluna Simples da largura de chapas corrugadas com bobinas não refileadas



Fonte: Software ProCep 2000 Versão 3.2.

Figura 30. Gráfico da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobina não refileadas

Nas Figuras 30 e 31, se pode verificar que o processo é efetivamente não capaz, pois apresenta Cpk superior menor que 1, bem como os dados estão distribuídos acima LSE.

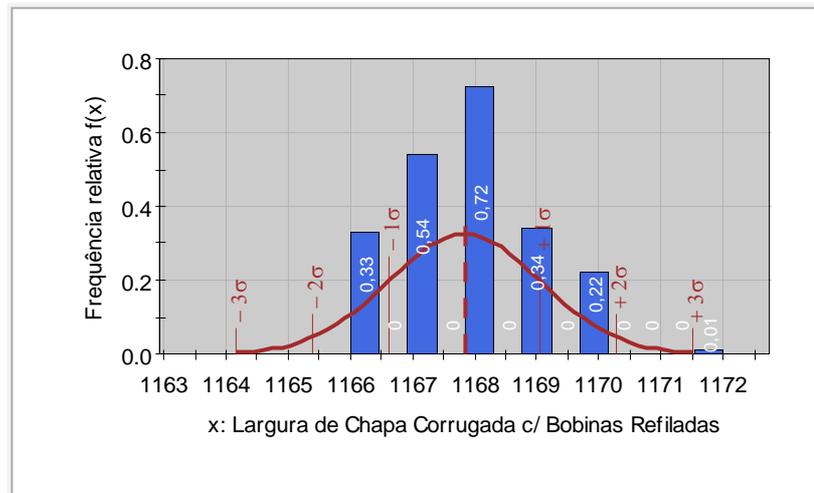


Fonte: Software REPETE – Repetibilidade e Reprodutibilidade Versão 1.01

Figura 31. Análise da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas não refileadas

4.2.2.2 Cálculo da Capacidade do Processo de Produção de Chapas Corrugadas com Bobinas de Bordas Refiladas.

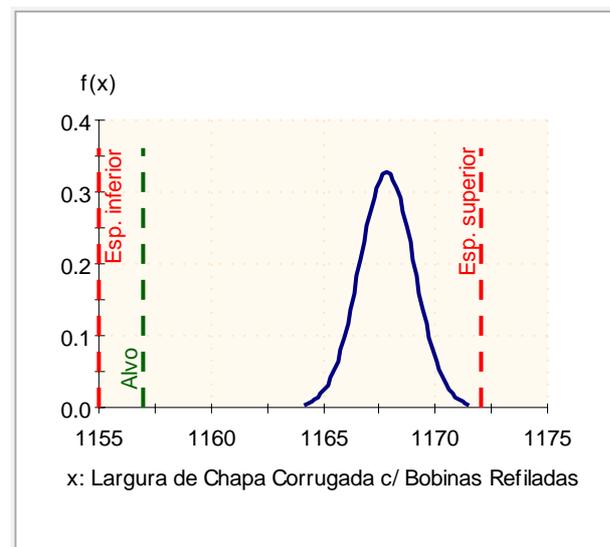
Na figura 32, se pode verificar a distribuição dos dados no histograma, para as chapas produzidas com bobinas com as bordas refileadas. A hipótese de que a população segue o modelo normal é rejeitada no teste de normalidade.



Fonte: Software ProCep 2000 Versão 3.2

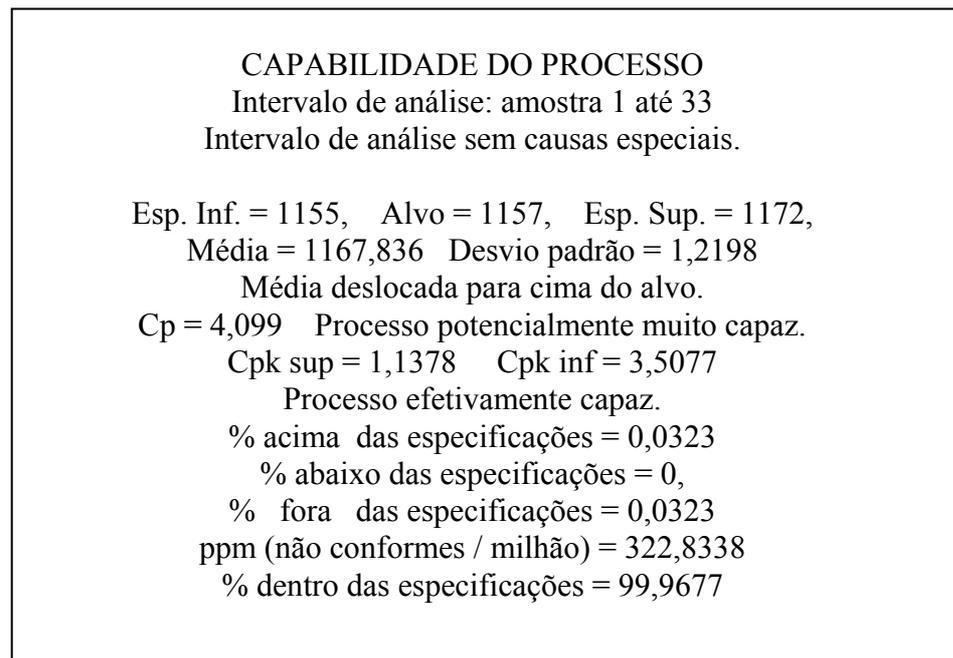
Figura 32. Diagrama de colunas simples da largura de chapas corrugadas com bobinas refiladas

Nas Figuras 33 e 34, se pode verificar que o processo tornou-se efetivamente capaz, pois apresenta Cpk superior maior 1, após o refileamento das bobinas, bem como os dados ficaram distribuídos entre os limite de especificação.



Fonte: Software ProCep 2000 Versão 3.2

Figura 33. Gráfico da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas refiladas



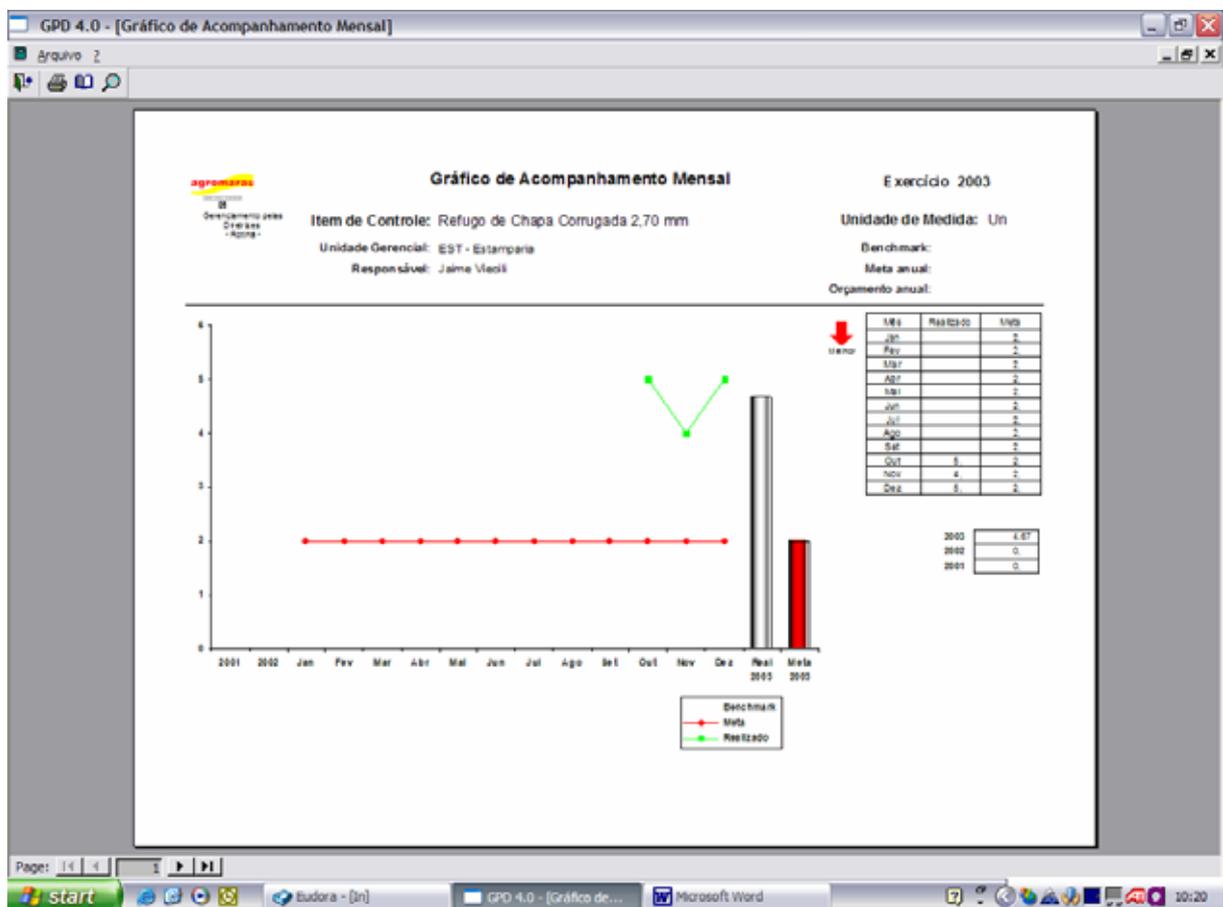
Fonte: Software REPETE – Repetitividade e Reprodutibilidade Versão 1.01

Figura 34 . Análise da capacidade do processo de produção de chapas corrugadas com bobinas refileadas

4.3 Definição de Indicador de desempenho para o processo

Durante o início da implantação do CEP no Setor Estamparia, foi proposto o estabelecimento de um indicador de desempenho que mostrasse claramente as perdas que poderiam estar acontecendo no processo de corrugação das chapas de corpo dos silos de grãos. Foi realizada reunião com o Técnico do Setor e os Operadores da corrugadeira, onde se discutiu qual a perda mais significativa neste processo. A alimentação do desbobinador e a regulagem da altura dos roletes da corrugadeira conforme espessura das chapas gerava perdas de chapas até que se conseguisse conformar a primeira chapa boa. Foi estabelecido então um indicador deveria mostrar a perda de chapas corrugadas. Esta perda refere-se a chapas não conformes geradas no processo de corrugação, até se conseguir a primeira chapa corrugada considerada aprovada. O indicador foi chamado Refugo de Chapa Corrugada 2,70 mm, sendo este inserido no sistema de gestão da qualidade da GSI Agromarau. O mesmo faz parte dos indicadores de desempenho do gerenciamento da rotina do Setor Estamparia, como se pode verificar nas Figuras 35 e 36. Estabeleceu-se que o indicador de desempenho Refugo de Chapas Corrugadas 2,70 mm tem acompanhamento mensal, sua unidade de medida é o número de

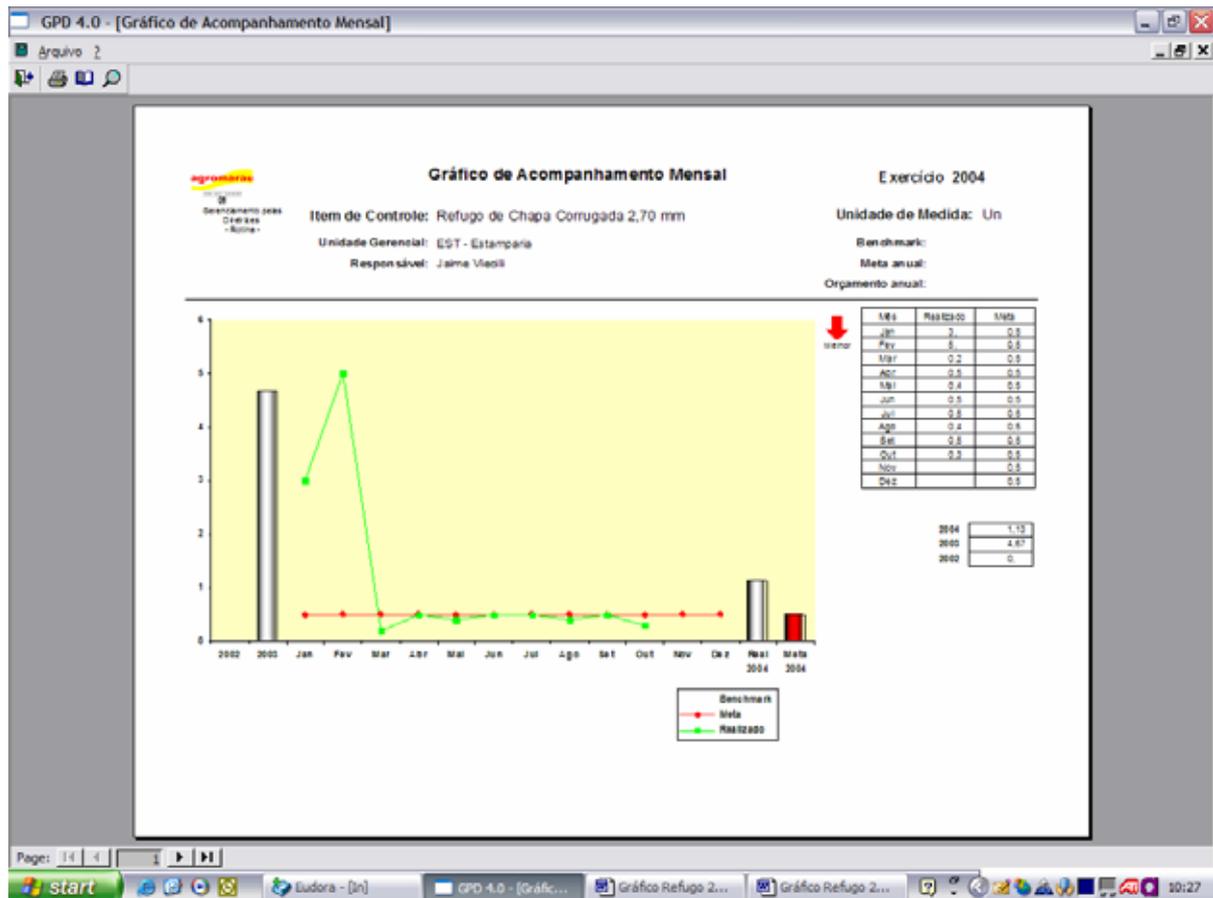
chapas refugadas, os dados devem ser coletados pelos Operadores da corrugadeira, a alimentação no sistema deve ser feita pela Assistente da Engenharia da Qualidade, e o gráfico deve ser exposto no Setor Estamparia. Os dados das Figuras 35 e 36 mostram o número de chapas perdidas até se conseguir a primeira chapa boa. Na Figura 35 pode-se verificar que foram perdidas de outubro a dezembro de 2003 respectivamente, 5, 4 e 5 chapas. Na Figura 36 pode-se verificar que em janeiro perderam-se 3 chapas e em fevereiro 5 chapas. As bobinas enviadas para refilamento começaram a ser inspecionadas em março. Após o processo de corrugação operar com bobinas de bordas refiladas, em média 1214 mm de largura, a partir de março de 2004, reduziu-se o número de chapas refugadas, como se pode verificar na Figura 36.



Fonte: Software GPD – Gerenciamento pelas Diretrizes

Figura 35. Item de controle refugo de chapas corrugadas 2,70 mm ano de 2003

A análise das perdas antes da implantação do CEP no processo de corrugação de chapas de 2,70 x 1157 x 2934, pode ser vista na Tabela 13.



Fonte. Software GPD – Gerenciamento pelas Diretrizes

Figura 36. Item de controle refugo de chapas corrugadas 2,70 mm ano de 2004

Considerando a média de 4,4 chapas refugadas por bobina por mês, de outubro de 2003 a fevereiro de 2004, com peso médio de 76,04 kg por chapa, custo de R\$ 2,41 o kg de aço ZAR 345, com consumo de 4 bobinas mês, chegou-se a uma perda mensal de R\$ 3.225,31, como se pode verificar Tabela 13. O registro das perdas de chapas iniciou em outubro de 2003, mas o Técnico de Estamparia informou que esta perda vinha acontecendo nos anos anteriores, pois as bobinas não eram inspecionadas no recebimento nem enviadas para refilamento. A partir desta informação, pôde-se concluir com segurança que este valor aceito como média, multiplicado por 12 meses de 2003, gerou uma perda de R\$ 38.703,72.

4.4 Resultados da implantação

O resultado da implantação do CEP e das ações de melhoria é apresentado a seguir.

4.4.1 Redução da variabilidade e melhoria da capacidade

Verificou-se que, após a implantação do CEP, o desvio-padrão do processo foi reduzido e o status do processo mudou de não capaz para capaz.

Na Figura 31, pode-se verificar que o processo era não capaz, e com desvio padrão 1,62, Quando produzia chapas corrugadas com bobinas de bordas não refiledas.

Após o controle da largura da bobina, dos treinamento aos Operadores na calibragem da altura dos roletes da corrugadeira, da conscientização dos Operadores da importância do controle da largura das bobinas, da conscientização das perdas e da importância do cumprimento dos procedimentos de monitoramento das cartas de controle, com a implantação do CEP, o processo tornou-se efetivamente capaz e seu desvio padrão passou para 1,14, como se pode verificar na Figura 34.

4.4.2 Ganhos financeiros

Os ganhos financeiros foram conseguidos pela redução das chapas refugadas para calibração da corrugadeira. O processo antes da redução da variabilidade tanto na largura de chapas e bobinas e em consequência da largura das chapas corrugadas gerava em média 4,4 chapas refugadas por mês, considerando o período de outubro de 2003 a fevereiro de 2004. Esta perda, ao longo de 12 meses, projetados retroativamente para os meses de janeiro a dezembro de 2003, gerou em média R\$ 38.703,72. Detalhamento deste cálculo pode ser visto na Tabela 13. Não foram incluídas as perdas referentes aos tempos de calibração da corrugadeira, os tempos movimentação das chapas refugadas e a perda de produção provocada por estas perdas.

Após a redução da variabilidade, a perda média de chapas passou para de 0,41 chapas refugadas por mês, entre março e outubro de 2004. O cálculo de perdas das chapas refugadas após a redução da variabilidade pode ser visto na Tabela 16.

Tabela 16 . Tabela das perdas de chapas devido à calibração da corrugadeira depois de redução da variabilidade (Fonte: GSI Agromarau, Departamento de Engenharia da Qualidade)

Descrição da Perdas com Calibração do Roletes da Corrugadeira após a Redução da Variabilidade	Valores
Número médio de chapas refugadas para calibrar a altura dos roletes e a largura das chapas corrugadas	0,41 por bobina
Peso médio por Chapa (1157 x 2,70 x 2934)	76,04
Preço de Custo do kg de aço ZAR 345	2,41
Perda para Calibrar a Corrugadeira (considerando 0,41 chapas por bobina)	R\$ 75,14
Número de Bobinas ZAR 2,70 consumidas por mês em média	4
Total da Perda em Chapas para Calibrar Corrugadeira	R\$ 300,54 por mês

A Tabela 16 mostra o valor de R\$ 300,54 por mês de perda com chapas refugadas no processo de corrugação depois redução da variabilidade do processo.

O demonstrativo da economia, redução de perdas, com a implantação do CEP neste processo pode ser visto na Tabela 16. A perda de R\$ 3.225,31 ao mês em 2003 passou para R\$ 300,54 ao mês em 2004. Considerando os dados médios para o ano de 2003, a empresa teve a perda de R\$ 38.703,72. Para o ano de 2004, considerando os dados de março a outubro e a média de R\$ 300,54 por mês de perda, 2004 chegará a uma perda média de R\$ 3.606,48.

Os dados mostram uma redução de R\$ 2.924,77 ao mês, sendo o projetado para o ano de 2004 o valor de R\$ 35.097,24.

4.4.3 Outros ganhos

Após a implantação do CEP no Setor Estamparia, outros ganhos não financeiros e não quantitativos foram conseguidos. Em reunião com os Operadores, Gerente de Produção, Coordenador de Produção, Técnico de Estamparia ficou determinado que o CEP deverá ser implantado no Setor de Injetoras, no processo de injeção de capas de bebedouros e no processo de extrusão de tubos de PVC. Nesse reunião, os Operadores da corrugadeira comentaram que é melhor acompanhar o processo, e as cartas de controle davam uma ” fotografia ” de como o processo estava operando. Tanto Chefias e Operadores aumentaram seu comprometimento com a melhoria da qualidade quando começaram a visualizar e contabilizar as perdas de chapas corrugadas no processo. Nas reuniões mensais coordenadas pelo Gerente de Produção sobre os resultados dos indicadores de desempenho do Departamento de

Produção, foi incluído comentário sobre o indicador de desempenho Refugo de Chapas Corrugadas 2,70 mm e são feitos comentários sobre o andamento das cartas de controle no processo de corrugação. Foi evidenciado, pelo Gerente da Engenharia da Qualidade, em reuniões com o Diretor Geral e com Gerente e Coordenador Produção, o aprendizado sobre a importância das técnicas estatísticas e da importância do conhecimento e acompanhamento do processo, o qual gera dados, em vez do tradicional sistema de inspeção aprova ou reprova peças. Concluíram-se estas reuniões com a decisão do Diretor Geral e Gerente de Produção, de implantar o CEP em outros processos do Departamento de Produção, bem como deverão ser disseminadas e utilizadas técnicas estatísticas nas áreas administrativas a partir de 2005.

5 COMENTÁRIOS FINAIS

5.1 *Conclusões*

Esta pesquisa-ação teve por objetivo principal reduzir a variabilidade e como objetivo secundário diminuir as perdas da má qualidade, incorridas no processo de corrugação de chapas de corpo de silos de grãos através da implantação do Controle Estatístico do Processo em um fabricante de equipamentos para avicultura, suinocultura, armazenagem e movimentação de grãos.

As etapas da implantação deste trabalho foram: primeiramente se definiu em qual atividade da empresa o CEP seria implantado, visto que a organização atua em três áreas distintas do ramo agroindustrial; em segundo lugar, definiu-se em que linha de produto e em que processo o CEP seria implantado.

Definida linha de produto como sendo silos armazenadores e silos-secadores, decidiu-se implantar o CEP na linha de produção de chapas corrugadas, de ondulação 4 polegadas, com espessura 2,70 mm.

A análise deste processo pelos Departamentos Engenharia de Desenvolvimento de Produto, Engenharia da Qualidade e Departamento de Produção permitiu concluir que a característica da qualidade a ser priorizada deveria ser a largura da chapa corrugada após cortada, bem como foi proposto o uso de um indicador de desempenho para medir e acompanhar as perdas de chapas no processo em questão. A partir disso, deu-se a implantação do CEP.

Com a implantação do CEP, partiu-se para a análise dos resultados dos estudos de estabilidade, capacidade e perdas da má qualidade, a qual mostrou que a empresa deve se preocupar com a qualidade de matéria prima, comprometimento dos Operadores com a

qualidade do produto fabricado e com as perdas da má qualidade que ocorrem nos processos.

As conclusões a respeito da característica da qualidade analisada são as seguintes:

1) A qualidade da largura das chapas corrugadas e as perdas da má qualidade, representadas por chapas refugadas, estão diretamente relacionadas com a qualidade da largura das bobinas fornecidas pela usina, com o cumprimento e execução do procedimento de calibragem da altura dos roletes da corrugadeira e com a monitoração permanente do processo durante a corrugação.

2) O controle da largura das bobinas, com especificação de 1214 mm, contribui diretamente para que o processo opere em controle estatístico, seja considerado capaz e gere menos chapas refugadas.

3) Há necessidade de o Departamento de Compras da Empresa solicitar ações de melhoria da qualidade da largura das bobinas fornecidas pela usina.

Quanto aos principais resultados da implantação do CEP, verificou-se a redução da variabilidade, aumento da capacidade e redução de perdas da má qualidade. Antes da implantação do CEP, o processo de corrugação de chapas corrugadas de espessura 2,70 mm operava com desvio-padrão 1,62, processo potencialmente muito capaz e processo efetivamente não capaz, bem como as perdas da má qualidade representadas por chapas refugas chegavam a R\$ 38.703,72. Após a implantação do CEP, o processo passou a operar com desvio padrão 1,14. Continuou potencialmente muito capaz, tornou-se efetivamente muito capaz, e as perdas da má qualidade estimadas para 2004 deverão chegar a R\$ 3.606,48. Considerando a quantidade de chapas refugadas, o processo passou de 4,4 a 0,41 chapas refugadas por mês.

Pode-se concluir, com base nos dados e informações apresentados, que este trabalho atingiu os objetivos propostos.

REFERÊNCIAS

- AOKLAND, John S. *Statistical Process Control*. Massachussets: Butterworth Heinemann, 1999.
- BROCKA, Bruce e BROCKA, M. Suzanne, *Gerenciamento da Qualidade*. São Paulo: Makron Books, 1995.
- CAMPOS, Vicente F. *Controle da Qualidade Total (no Estilo Japonês)*. São Paulo: Epse, Fundação Christiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1992.
- CAIXETA Fº José Vicente. *Seminário Internacional de Logística Agroindustrial*. São Paulo, ESALQ - Escola Superior de Agricultura, 2004.
- DELLARETTI Fº O. *Itens de Controle e Avaliação de Processos*. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1994.
- DEMING, William E. *A Nova Economia para Indústria, Governo e Educação*. São Paulo: Qualitymark, 1997.
- HRADESKY, J.L. *Productivity & Quality Improvement – A Pratical Guide to Implement Productivity and Quality Improvement*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- JURAN, J. M. e GODFREY, A. B. *Juran's Quality Handbook*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- KUME, H. *Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade*. São Paulo: Gente, 1993.
- LATZKO, W. J. *The Underused Control Charts: Facts, Myths, and Applications*. Proceedings of the 54th Annual Quality Congress. Indianápolis, 2000. Pg 782-790.
- LOURENÇO, Fº R. C. B. *Controle Estatístico da Qualidade*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora SA, 1984.
- MONTGOMERY, D.C. *Statistical Quality Control*. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Planos de Amostragem e Procedimentos na Inspeção por Atributos (NBR 5426)*. ABNT. Rio de Janeiro. 1985.

- OGRAJENZEK, Irena e THYREGOD, Poul. *Qualitative Methods versus Quantitative Methods*. Quality Progress, Milwaukee, p. 82-85, jan., 2004.
- PITT, H. *SPC For Rest of Us: A Personal Path to Statistical Process Control*. Massachusetts: Addison-Wesley, 1994.
- RIBEIRO, J.L. e CATEN, C.T. *Controle Estatístico de Processos – Apostila de Curso*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- ROTANDARO, Roberto G. *Seis Sigma: Estratégia Gerencial para a Melhoria de Processos, Produtos e serviços*. São Paulo: Editora Atlas, 2002.
- SIQUEIRA, Luiz G. P. *Controle Estatístico do Processo*. São Paulo: Griffó, 1997.
- WEBER, E. Aquino. *Armazenagem Agrícola*. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2001.
- WERKEMA, M.C.C. *Ferramentas Estatísticas Básicas para o Gerenciamento de Processos*. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1995.
- WERKEMA, M.C.C. *Avaliação da Qualidade de Medidas*. Belo Horizonte: Fundação Cristiano Ottoni; Escola de Engenharia da UFMG, 1996.