

2301068

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PROJETO MECÂNICO

PROJETO DE IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO NUMA FÁBRICA
DE EIXOS DIFERENCIAIS

Autor : PAULO ROBERTO DIAS MENEZES

Orientador : Prof. ETTORE BRESCIANI FILHO

À minha noiva TANIA e à minha
mãe THEREZA por todo o apoio e com
preensão que tiveram durante o meu
curso de graduação e durante a ela
boração deste trabalho.

Agradecimentos Especiais

Ao meu pai LUIZ, pela trilha deixada para mim.

Ao meu irmão LUIZ e à minha irmã SELMA, por toda ajuda prestada para a minha
formação profissional e humana.

Ao meu amigo BRUNO, amigo de todas as horas e que muito me ajudou.

SUMÁRIO

Atualmente, devido à crise econômica por que estamos passando, as empresas têm, de uma forma ou de outra, tentado reduzir os seus gastos.

Várias reduzem estes gastos com a dispensa de mão-de-obra. Outras porém, tentam reduzi-lo com a eliminação dos desperdícios dentro da fábrica e nos escritórios.

Existem várias maneiras de se reduzir estes desperdícios, tendo cada empresa adotado uma solução.

Um método possível é o da redução da produção de peças defeituosas. Para se conseguir esta redução, existem várias "ferramentas de trabalho", como os estudos de "Machine Capability", o "First Run Capability" e, de uma maneira mais ampla, o Controle Estatístico do Processo.

O Controle Estatístico do Processo é um método estatístico que tem por finalidade detetar as causas que geram variação do processo, sendo possível tomar medidas no sentido de corrigí-lo antes que sejam produzidas peças fora de especificação. É, pois, um método de prevenção.

Embora utilizando estatística simples, sua análise pode, em alguns casos, ser dificultada, podendo ser úteis, então, os dois métodos anteriormente citados.

A conscientização de todo o pessoal envolvido sobre a importância do sistema, é pré-requisito número um para que a implantação seja bem sucedida. Esta conscientização, como será visto, deve ser feita "de cima para baixo", isto é, da gerência até o operador.

Por se tratar de uma ferramenta que não exige grandes investimentos e, se bem implantado e operado, poderá reduzir os gastos com peças produzidas fora de especificação, o Controle Estatístico do Processo deverá ser utilizado por todas as empresas para o seu desenvolvimento e crescimento.

INDICE

Sumário	III
Índice	IV
1. Introdução	1
1.1. A Empresa	1
1.2. O Estágio	2
2. Processo Produtivo	4
2.1. Produtos	4
2.2. O Processo	5
2.3. O Projeto	7
2.3.1. Projeto do Produto	7
2.3.2. Projeto do Processo	7
3. Controle de Qualidade	8
3.1. Definição	8
3.2. Política de Qualidade	8
3.3. Objetivos do Sistema	8
3.4. Áreas de Atuação do Sistema	8
4. Sistema de Controle de Qualidade	9
4.1. Controle da Matéria-prima	9
4.2. Controle do Processo	9
4.3. Controle do Produto Final	10
5. Métodos de Controle do Processo	11
5.1. First Run Capability	11
5.2. Machine Capability	12
5.3. Controle Estatístico do Processo	14
6. Controle Estatístico do Processo	15
6.1. Diretrizes para a Implantação	15
6.2. Grupos Especiais de Trabalho	17

6.3. Introdução ao Controle Estatístico do Processo	18
6.3.1. Prevenção versus Detecção	18
6.3.2. Um Sistema de Controle do Processo	18
6.3.3. Variação: Causas Comuns e Especiais	19
6.3.4. Ações no Local e Ações no Sistema	20
6.3.5. Controle do Processo e Capacidade do Processo ..	21
6.3.6. Carta de Controle: Ferramenta de Controle	22
6.3.7. Vantagens das Cartas de Controle	23
6.4. Cartas de Controle para Variáveis	24
6.4.1. Cartas \bar{X} e R	24
6.4.2. Cartas \bar{X} e s	40
6.4.3. Cartas das Medianas	42
6.4.4. Cartas de Individuais	45
6.5. Cartas de Controle para Atributos	47
6.5.1. Carta p	49
6.5.2. Carta np	60
6.5.3. Carta c	61
6.5.4. Carta u	62
Apêndice A: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta \bar{X} e R	VI
Apêndice B: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta \bar{X} e s	VII
Apêndice C: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta das Medianas	VIII
Apêndice D: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta de Individuais	IX
Apêndice E: Tabela do Fator Z para Distribuição Normal	X
Apêndice F: Modelos de Cartas de Controle	XI
Apêndice G: Papel Normal para Machine Capability	XII

1. INTRODUÇÃO

1.1. A EMPRESA

1.1.1. Identificação

- NOME : Albarus S.A. Indústria e Comércio
- RAMO : Indústria Metalúrgica, Fabricante de Auto Peças
- NÚMERO TOTAL DE FUNCIONÁRIOS : 2725, sendo 431 em São Paulo

1.1.2. Histórico

Fundada em 10 de julho de 1947, muito antes da indústria automobilística no Brasil, por Ricardo Bruno Albarus, com o nome de Albarus & Cia. Esta empresa começava a demonstrar sua vocação automotiva logo cedo, como fabricação da primeira cruzeta universal no Brasil, em 1949.

Três anos depois este produto passou a ser fornecido à FORD, como componente original de seus veículos.

Em 1955, foi transformada em Sociedade Anônima.

Em 1957, a Albarus passou a fabricar eixos cardan completos sob licença da Dana Corporation dos E.U.A., com a qual se associou.

Uma outra indústria automobilística passa a utilizar os produtos Albarus como componentes originais de seus veículos, é a General Motors, que se torna cliente em 1958.

No ano de 1962, foram incluídas em sua linha de produção peças de suspensão, e em 1969, a linha de elastômeros.

Mais tarde, em 1973, a Albarus adicionou a linha de eixos diferenciais,

No ano seguinte passou a produzir juntas homocinéticas, associando-se à GKN Industries Ltd., da Alemanha.

Quatro anos depois, a Albarus completa sua linha atual de produtos com embreagens para veículos pesados.

Hoje a Albarus é o maior fabricante brasileiro de componentes de transmissão de força e um dos maiores e mais tradicionais fornecedores da indústria automotiva.

Com mais de 250 produtos diferentes, abastecem o mercado original, de reposição e são exportados para: Europa, Ásia, África, Oriente Médio, América do Norte, Central e do Sul.

O principal mercado é constituído pelas fábricas montadoras de veículos, que representam cerca de 60% de suas vendas, sendo completado pelos mercados de reposição, implementos agrícolas e máquinas industriais.

A Albarus opera em quatro unidades industriais descentralizadas.

Sua maior unidade industrial, que também é a matriz, fica em Porto Alegre (RS). Aqui a Albarus ocupa uma área construída de 28 mil metros quadrados, abrigando um dos maiores parques industriais do Estado.

Com quase 2 mil colaboradores, esta unidade produz: embreagens, conjuntos de barramento, juntas universais e principalmente juntas homocinéticas, cuja produção é a maior da América Latina, equipando quase todos os veículos nacionais de tração dianteira.

A segunda unidade industrial, que fica em Gravataí (RS) produz o seu produto mais tradicional, a cruzeta universal, que move desde carros de passageiros até equipamentos industriais, contando ainda com componentes fabricados em forjaria própria e com todos os recursos necessários, é a unidade mais moderna da Albarus.

Além da cruzeta universal a unidade Gravataí produz também elastômeros, que servem como importantes componentes de outros produtos Albarus.

Na unidade São Paulo (SP), onde está baseado o nosso trabalho a Albarus dedica-se à produção de eixos diferenciais para utilização em carros de passeios, pick-ups e caminhões leves e médios. Com cerca de 400 colaboradores esta unidade se preocupa em atender rigorosamente todas as especificações que são determinadas pelas montadoras.

E finalmente a quarta e mais recente unidade fica em Sorocaba (SP) que com 10 mil metros quadrados, desenvolve o trabalho de montagem final dos eixos cardans,

1.2. O Estágio

O estágio começou a ser desenvolvido a partir de 27 de junho de 1983 no Departamento de Controle de Qualidade (DCQ), mais especificamente no Departamento estatístico.

Primeiramente foi iniciada a implantação de estudos de Machine Capability

(ver ítem 5.2).

Após a análise da capacidade da máquina através de cálculos estatísticos realizados sobre os dados colhidos na produção, são indicadas ações corretivas a serem tomadas na máquina. Estas ações devem ser tomadas pelos departamentos responsáveis e destes são cobradas as respostas.

Para auxiliar a análise dos dados colhidos, foram desenvolvidos alguns programas que efetuam os cálculos necessários, arquivam na memória estes dados e emitem um relatório sobre o estado da máquina.

Posteriormente, embora não fosse um trabalho pertencente ao Departamento Estatístico, foi desenvolvido um sistema de aferição periódica de calibradores, padrões e dispositivos de medição para a Sala de Calibradores, seção pertencente ao Controle de Qualidade. Este sistema foi desenvolvido com a utilização do computador, onde estão cadastrados todos os calibradores. Cada calibrador possui um período após o qual ele deverá ser checado dimensionalmente para se verificar qualquer desgaste. Periódicamente é retirada do computador uma listagem onde constam todos os calibradores que deverão ser aferidos. Após aferidos, os novos dados são lançados no computador e, levando-se em conta a data e o período de aferição, é acumulada a data da próxima aferição.

Este sistema garante que os padrões estejam sempre em perfeito estado de operação. Qualquer anormalidade observada faz com que o padrão seja retitado de uso.

Em seguida, o estágio passou a ser dirigido mais especificamente para a implantação do Controle Estatístico do Processo no processo produtivo, embora não havendo desligamento das atividades supra mencionadas.

Como será visto no ítem "6", há a necessidade de se monitorar o pessoal que irá trabalhar com o controle estatístico, quer sejam operadores, preparadores de máquina ou inspetores de linha. Um dos trabalhos por mim realizados, juntamente com o pessoal responsável pela parte do treinamento, foi elaboração de um plano de ensino das técnicas de controle estatístico para o pessoal produtivo, tendo também atuado como instrutor dos mesmos. Ainda no plano do controle estatístico do processo, faço parte de um grupo de auditoria e acessoria, sendo que o objetivo principal deste grupo é o de informar a coordenação do sistema de como está sendo realizado o preenchimento das cartas de controle e, no caso deste preenchimento não sendo corretamente realizado, são informadas as causas e as ações a serem tomadas para eliminar o problema. Também é função deste grupo acessoriar a implantação das cartas quer quanto à orientação de treinamento através do acionamento do grupo de monitoria, quer quanto à eliminação de dúvidas surgidas no processo de implementação das cartas, como por exemplo, dúvidas de qual ítem deverá ser

controlada em uma determinada peça.

2. PROCESSO PRODUTIVO

2.1 Produtos

Na unidade de São Paulo são produzidos eixos diferenciais completos em diferentes modelos. Cada modelo bem como sua aplicação estão descritos abaixo:

- Modelo 26 - Chevy 500
- Modelo 30 - Opala/ Caravan
Alfa Romeo
Puma GTB
Pampa 4 X 4
- Modelo 44 - F-100/ F-1000
F-75 4 x 2 e 4 X 4
Jeep UMM 4 X 4
- Modelo 60 - F-2000
Marcopolo
- Modelo 70 - F-4000
VW 6-80 e 6-90

Além dos produtos acima descritos, também são usinados alguns componentes para as outras unidades da Albarus, como:

- Ponteira Monza
- Ponteira Zeta (Escort)
- Eixo Zeta

Estes são os eixos produzidos para as montadoras nacionais. Existem ainda os produtos dirigidos para a exportação, como os eixos dianteiro e traseiro para a UMM de Portugal. Outro item de exportação são as caixas do diferencial enviadas para a DANA Co., USA.

O eixo diferencial consiste basicamente de uma carcaça fundida de grande rigidez aonde é inserido um conjunto de engrenagens de transmissões angulares e diferencial, composto de um par coroa-pinhão (engrenagens hipoidais) e um conjunto diferencial formado por uma caixa diferencial e um conjunto de engrenagens satélites e planetárias.

Para o eixo diferencial convencional, a esta carcaça são embutidos tubos que a ela soldados (aplicado geralmente para eixos traseiros).

Os diferenciais podem, também, ser utilizados para eixos dianteiros direcionais rígidos (com tubos) e como eixos de tração para veículos com suspensão independente (dianteiros ou traseiros).

As finalidades do diferencial podem ser descritas como:

01. Quanto ao movimento:

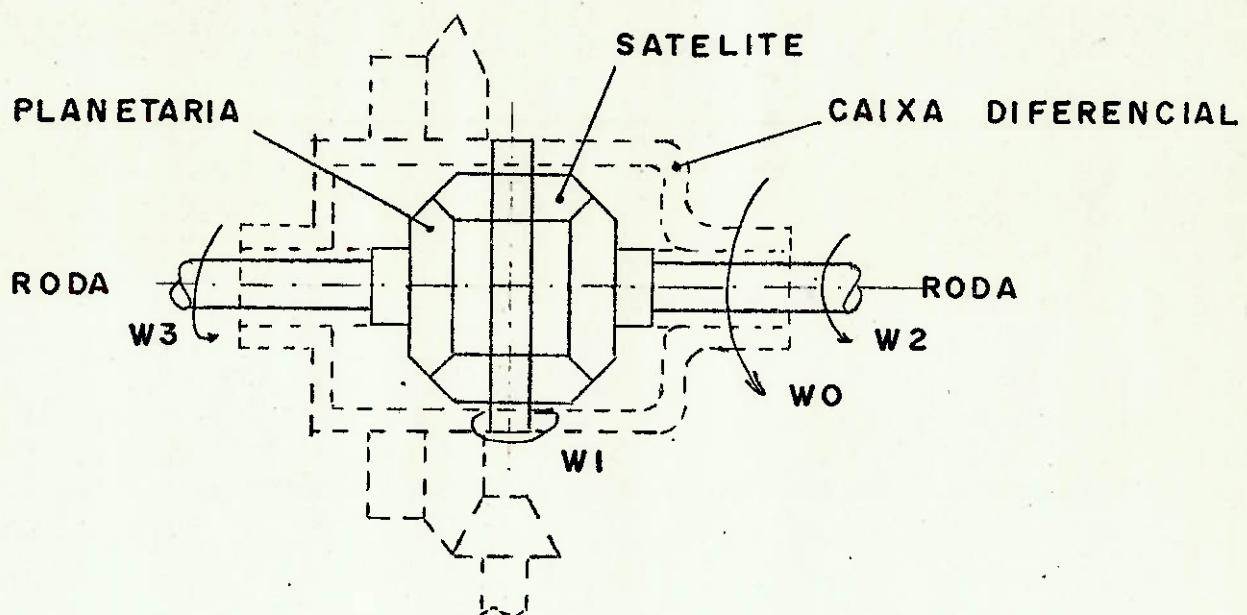
- transmite esforço de aceleração
- efetua transmissão angular
- efetua uma equalização de propulsão com diferenciação de velocidade

02. Quanto a suporte de cargas (eixo com tubos embutidos)

- mantém as rodas alinhadas com o veículo
- suporta o peso dinâmico/ estático de massa suspensa

Um desenho simplificado está representado na figura " A ".

Baseado no esquema abaixo, será descrito de forma suscinta o funcionamento do diferencial.



Como pode-se verificar no esquema acima, o pinhão transmite rotação para a coroa que por sua vez transmite a rotação à caixa diferencial por estar solidária a esta.

Estando o veículo movimentando-se em linha reta, teremos $W_2 = W_3 = W_0$, que será também a rotação das rodas.

Durante a realização de uma curva teremos $W_2 \neq W_3$. Isto será possível se $W_1 \neq 0$, ou seja, as engrenagens satélite terão um movimento de rotação.

Se mantivermos uma das rodas levantadas, a outra terá rotação duas vezes maior do que a rotação da caixa (condição cinemática).

2.2 O Processo

Para melhor descrever o processo produtivo, será necessário explicar a res-

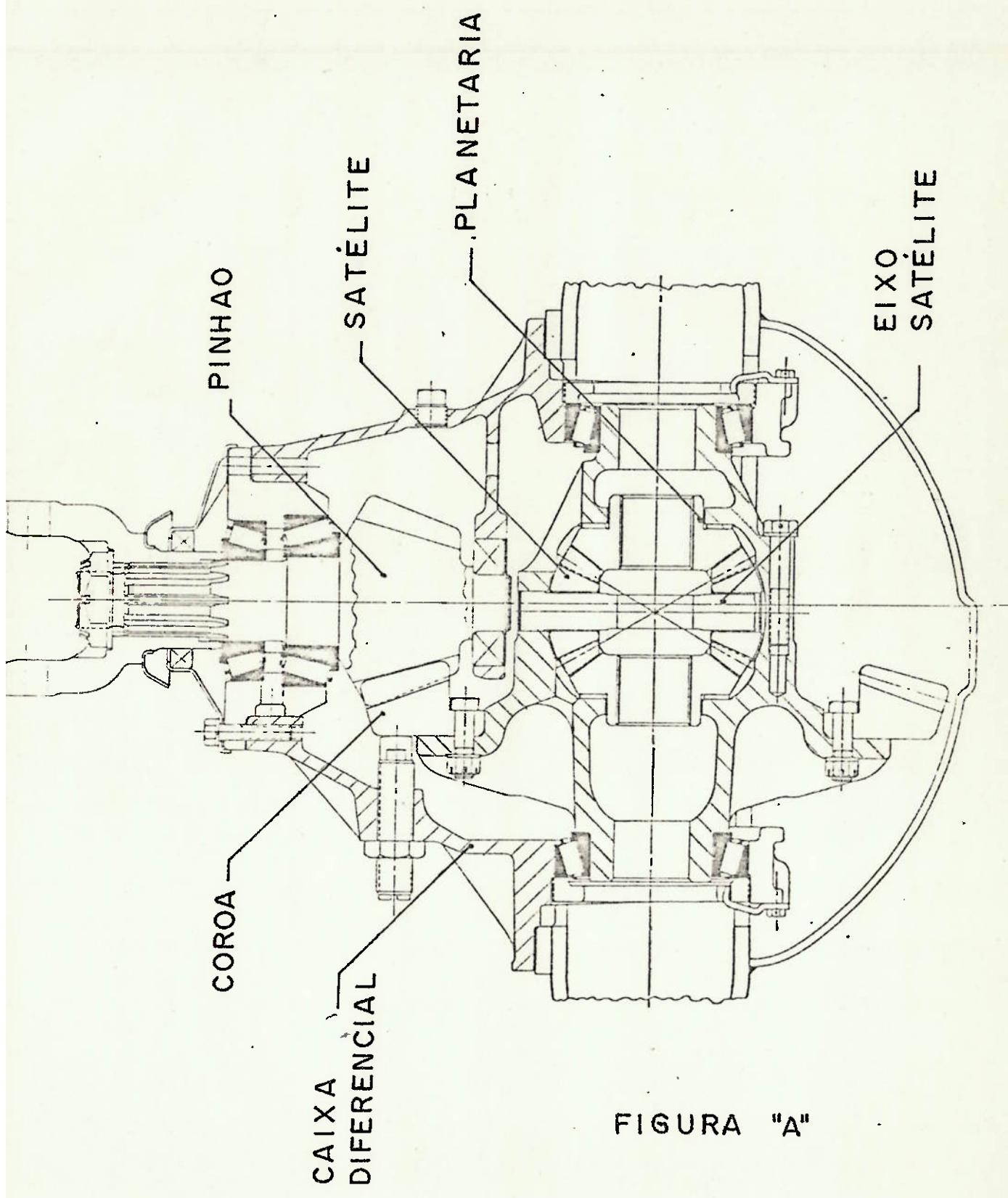


FIGURA "A"

ponsabilidade de cada área no processo. Estas áreas são chamadas de centros de custos e recebem uma numeração para diferenciá-los entre si.

2.2.1. - CC. 210

Este centro de custo é o responsável pela usinagem das ponteiras' (zeta e monza), do eixo zeta e do munhão da direção.

As ponteiras e o eixo zeta, após a usinagem, são enviados para a unidade de Porto Alegre. O munhão por sua vez é enviado à montagem' para juntar-se aos demais componentes do eixo.

2.2.2. - CC. 230

Neste centro de custo são usinados os tubos e suas respectivas flanges. Aqui também são soldados alguns componentes no tubo, que são: suporte de mola, suporte do amortecedor e tubo de respiro.

2.2.3 - CC. 240

Também conhecido como linha de fundidos, este centro de custo usina a carcaça e a caixa do diferencial (peças fundidas), além do eixo dos satélites, do anel trava e do mancal.

2.2.4. - CC. 250

Cade a este centro de custo a usinagem do blank do pinhão, coroa e planetária, sendo que a responsabilidade pelo corte dos dentes' é entregue à outro centro, como será descrito adiante.

2.2.5. - CC 260

Este centro de custo é a montagem propriamente dita. Aqui as peças são montadas, testadas e o eixo final recebe a pintura e uma identificação, antes de ser enviado à expedição de materiais.

2.2.6. - CC. 270

A usinagem do semi-eixo é feita totalmente neste centro de custo,' sendo este o único produto aqui usinado.

2.2.7. - CC 280

Todas as peças aqui usinadas são provenientes de outras seções com excessão da engrenagem satélite. O pinhão, a coroa e a engrenagem planetária são provenientes do CC. 250, recebendo aqui o corte e a lapidação dos dentes. O eixo dos satélites proveniente do CC. 240, sofre uma operação final de retífica antes da montagem. A engrenagem satélite é totalmente usinada dentro desta seção.

Basicamente as operações de usinagem no processo produtivo são: furação, torneamento (tornos copiadores), fresagem, brochagem, retificação (com rebolos

perfilados permitindo a retífica de vários diâmetros simultaneamente). Em especial para as engrenagens é feita uma operação de lapidação que visa dar uma melhor condição de contato entre os dentes. Numa operação anterior à lapidação é feito um teste de "casamento" entre as engrenagens para verificar a melhor condição de funcionamento entre ambas.

Existem também as operações de tratamento térmico para a maioria dos componentes.

2.3 O Projeto

Podemos dividir o Projeto em dois grupos, já que estes grupos são de responsabilidade de departamentos distintos.

2.3.1 Projeto do Produto

O Projeto do Produto inicia-se com o levantamento das necessidades de aplicação de um eixo em um determinado modelo de veículo de um cliente, isto é, é oferecido um eixo ao cliente ou, o cliente encomenda um determinado tipo de eixo para uma aplicação específica.

Definido o tipo de eixo, é feito um estudo de viabilidade de utilização de um modelo já existente, modificação deste modelo ou desenvolvimento de um eixo totalmente novo.

Definido o rumo do projeto, são enviados à Engenharia de Processos os desenhos dos componentes a serem fabricados para a montagem dos protótipos a serem utilizados em testes.

Realizados os teste dos protótipos, no caso de aprovação do produto, a Engenharia de Processos é acionada, bem como a Programação da Produção; no caso de rejeição, é feita uma análise dos resultados e efetuadas as mudanças necessárias dos componentes, montando novos protótipos, repetindo o ciclo descrito acima.

2.3.2 Projeto do Processo

Definido por parte da Engenharia de Produto o que deve ser fabricado, caberá à Engenharia de Processos como e aonde será fabricado.

Definido o processo (máquinas), são projetados os dispositivos de fixação e medição das peças, escolhidas as ferramentas, lubrificantes e, finalmente, elaboradas as folhas de processo, onde são descritos todos os itens a serem usinados e controlados com as suas respectivas medidas. Nas folhas de processo também constam os dispositivos de usinagem e medição, além de todos os passos necessários para a preparação da máquina (rotação, avanço, etc.).

3. CONTROLE DE QUALIDADE

3.1 Definição

Controle de Qualidade é um sistema efetivo para integrar esforços do desenvolvimento, manutenção e melhoria da qualidade de vários grupos na organização, resultando em produção e serviços mais econômicos possíveis e proporcionando a completa satisfação dos consumidores.

Mais especificamente, podemos definir o Controle de Qualidade em duas partes, que se acham relacionadas a seguir.

Qualidade: é a melhor forma para atender às condições do consumidor. Essas condições dependem de:

- a finalidade do produto ou artigo;
- o preço de venda deste produto ou artigo;

Controle: o aspecto do Controle é coberto por:

- a fixação cuidadosa dos padrões de qualidade;
- comparando aquilo que foi produzido com os padrões;
- agindo rapidamente quando esses padrões são ultrapassados;
- o planejamento para a melhoria dos padrões.

3.2 Política de Qualidade

Se a Gerência de uma empresa adotar uma política de qualidade além daquela proporcionada pelos recursos existentes, é necessário alocar um capital extra para a aquisição de novos equipamentos, além dos recursos adicionais para o treinamento do pessoal. Fatalmente este capital alocado encarecerá o produto a níveis em que o consumidor poderá optar por um produto que, embora seja de qualidade inferior, o seu custo também o será.

Um constante fluxo de informações com os clientes não deve ser negligenciado. Uma discussão do projeto do produto com os clientes pode produzir bons resultados. E as reclamações sobre o produto constituem uma realimentação valiosa, que a produção deve sempre levar em conta.

Em suma, essa deve ser a política adotada por uma empresa.

3.3 Objetivos do Sistema

Podemos dizer que o sistema de Controle de Qualidade tem por objetivos: estabelecer, melhorar e assegurar, sempre em nível econômico compatível, a qualidade da produção conformando-a aos desejos do consumidor. Trata-se, portanto, de evitar a produção de peças de qualidade insatisfatória ao invés de somente separá-las ao final do processo de fabricação.

3.4 Áreas de Atuação do Sistema

Basicamente poderemos dividir a área de atuação do sistema de Controle de

Qualidade em três áreas:

- Contrôle da matéria-prima;
- Contrôle do processo de fabricação; e
- Contrôle do produto final.

A descrição detalhada de cada ítem encontra-se no ítem seguinte.

4. SISTEMA DE CONTROLE DE QUALIDADE

4.1 Contrôle da Matéria-prima

Toda matéria-prima que deverá entrar para o processo produtivo deverá ser inspecionada para se verificar se esta atende às especificações dimensionais e metalúrgicas.

Este contrôle é realizado por um departamento pertencente ao Contrôle de Qualidade denominado Inspeção de Recebimento.

Quando da chegada da matéria-prima vinda do fornecedor, é tomado um lote de peças a serem verificadas, sendo que o tamanho do lote é função das dimensões das peças, da facilidade da tomada das medidas e da responsabilidade da peça. Se necessário a peça é enviada ao laboratório Químico/Metalúrgico, também pertencente ao Contrôle de Qualidade, para análise do material especificado em desenho.

Se não houver nenhum problema de especificação para a peça, o lote é aprovado e poderá ser utilizado no processo produtivo.

Se for constatada alguma anomalia, a matéria-prima sofrerá um encaminhamento dependendo da gravidade da anomalia constatada, podendo ocorrer até a devolução do lote ao fornecedor.

Em função da qualidade da matéria-prima de um determinado fornecedor, ao longo do tempo, este poderá receber um certificado de Qualidade Assegurada eliminando assim esse processo de inspeção.

Para se conseguir o mérito de Qualidade Assegurada, o fornecedor deverá ter um alto Índice de Qualidade do Fornecedor (IQF), que é calculado levando-se em conta os deméritos sofridos pelo fornecedor, a quantidade de peças entregues, a quantidade de lotes demeritados e um índice dado em função de uma auditoria realizada sobre o fornecedor em seu processo produtivo.

Os deméritos variam em função da gravidade da gravidade do problema encontrado no lote.

Estes índices são tomados mensalmente e poderão tanto conferir o termo de Qualidade Assegurada como eliminá-lo.

4.2 Contrôle do Processo

O Contrôle do Processo é realizado por inspeções volantes, isto é, não

existe um ponto de inspeção em cada linha para inspecionar as peças produzidas.

A inspeção volante verifica periodicamente as peças produzidas em cada máquina da linha de produção para se verificar a condição das peças que estão sendo produzidas.

Caso haja alguma anormalidade, o inspetor poderá efetuar desde a rejeição do lote produzido, obrigando a uma inspeção completa em todas as peças do lote, até a paralização da máquina por falta de condições de operação, devendo em seguida comunicar à chefia da linha para que esta tome as devidas providências.

A aprovação de um lote de peças só é realizada após a inspeção deste lote pelo inspetor, sendo tomada uma amostragem determinada.

É função também da inspeção volante a liberação de uma máquina para a produção após um "set-up", isto é, a mudança de ajuste da máquina de um modelo ou tipo de peça para outra (este processo também é conhecido como preparação de máquina).

Há um grupo de inspetores para centro de custo atuando independentemente, inclusive na montagem final do produto.

É importante salientar ainda que existe um outro grupo de inspetores que cuidam exclusivamente dos calibradores padrões e dispositivos de medição, realizando inspeções e aferições periódicas nos mesmos a fim de mantê-los em bom estado de uso.

4.3 Controle do Produto Final

O controle do produto final também é efetuado por uma inspeção volante, só que agora mais voltada para critérios de montagem, isto é, procura de defeitos ao invés de se efetuar uma análise dimensional mais apurada..

Os itens, durante o processo de montagem, são testados funcionalmente.

Qualquer anomalia constatada em um dos itens controlados poderá ocasionar desde a rejeição de apenas um conjunto até um lote inteiro, incluindo até peças que estejam estocadas.

Feita a verificação dos itens durante o processo de montagem, há a tomada de uma amostra de eixos que serão testados em veículos de teste (car-test). O teste consiste principalmente na verificação de eventuais ruidos que poderão surgir no diferencial ocasionados, por exemplo, por alguma irregularidade nos dentes das engrenagens que tenha escapado no processo de "cassamento" das mesmas ou ainda por algum dano sofrido pelos dentes durante a montagem.

Caso não ocorra nenhuma irregularidade durante o decorrer do teste, o lote é liberado, sendo então enviado à montadora.

5. MÉTODOS DE CONTROLE DO PROCESSO

5.1 First Run Capability

Pode-se dizer que o "First Run Capability" é a medição contínua da capacidade de um processo produzir peças conforme especificações de Engenharia. O objetivo desta técnica é evitar a produção de peças defeituosas. Com isso, a probabilidade de fornecimento de peças sujeitas a falhas será mínima. Esta técnica é aplicada pelo pessoal da produção e do controle de qualidade seguidamente desde as primeiras produções de um processo.

O "First Run Capability" é desenvolvido em etapas, descritas abaixo.

5.1.1 Estabelecimento das Estações de Inspeção ao Longo do Processo

A estação de inspeção é uma área de trabalho com boa iluminação, onde são instalados os equipamentos de inspeção necessários ao controle.

Nela encontram-se os inspetores de qualidade, responsáveis pela inspeção.

5.1.2 Preparação das Folhas de Instrução de Inspeção

Esses documentos, que são emitidos para peças individuais ou grupos de peças semelhantes, devem ser aprovadas pela Gerência do Controle de Qualidade, antes do seu uso. Os documentos deverão conter:

- identificação da peça;
- data do desenho;
- característica a inspecionar;
- limites de aceitação; e
- frequência de inspeção.

5.1.3 Preparação dos Relatórios

Os resultados da inspeção são lançados em relatórios, mostrando as quantidades produzidas, inspecionadas, aprovadas e rejeitadas.

Esses dados são lançados em gráficos diários, semanais, mensais ou qualquer outro período conveniente.

Também deverão ser anotados os motivos de rejeição (defeitos) para cada peça.

Para efeito de "First Run Capability", todas as peças aprovadas mediante seleção ou retrabalho, são lançadas como rejeitadas.

5.1.4 Análise de Rejeição

Os defeitos devem ser separados por grupos e listados por ordem de importância a fim de resolvê-los primeiro.

A análise é realizada para cada defeito, seguindo-se a ordem de importância, a fim de se determinar a respectiva causa.

5.1.5 Ações Corretivas

Após a identificação precisa das causas dos defeitos, deve ser feito um plano de correção, tomando-se as ações corretivas necessárias.

5.1.6 Informações à Gerência

Todas as informações obtidas pelo "First Run Capability" devem circular pelas áreas responsáveis, tais como: Produção, Controle de Qualidade, Processos e outras envolvidas.

Além da redução da probabilidade do consumidor receber peças defectuosas, o "First Run Capability" oferece inúmeras vantagens ao produtor, a saber:

- mede a habilidade em fazer cada operação de maneira correta, na primeira vez;
- identifica as áreas e as operações que estão causando defeitos;
- mede a eficácia do processo e da inspeção de processos;
- reduz custos internos e melhora a qualidade através da redução de reparos;
- disciplina o sistema de relatórios indicadores de qualidade;
- fornece à Gerência da fábrica um sistema consistente de informações de qualidade para auxiliá-la na administração;
- permite correlacionar o desempenho do processo de fabricação com o desempenho em serviço de um determinado produto;
- dá ênfase aos problemas de projeto, processos e controle de qualidade;
- evidencia, também, problemas de movimentação e falta de material em estoque; e
- acelera as soluções através de um sistema de seguimento.

5.2 Machine Capability

Os estudos de Machine Capability consistem na análise do comportamento de uma máquina quanto a manutenção das medidas para uma peça pelo desenho ou folha de processo.

Também poderia ser entendido como o estudo da capacidade da máquina produzir peças dentro da tolerância especificada.

Existem várias formas de se efetuar estudos de Machine Capability, todas elas baseadas em modelos estatísticos como por exemplo a Distribuição Normal, também conhecida como Distribuição de Gauss.

Será descrito neste trabalho um tipo de estudo que o autor considera mais significativo.

5.2.1 Considerações Iniciais

Para fins de estudo de capacidade de máquina, devem ser levados em conta os seguintes itens:

- O estudo começa com a coleta de dados. Devem ser coletadas, se possível, 40 peças fabricadas em sequência. O(s) parâmetro(s) a ser(em) analisado(s) deve(m) ser medido(s) e registrado(s) em folha(s) separada(s).
OBS.: o número de peças coletadas não deve ser inferior a 25, para se obter resultados significativos na modelagem dos dados por uma Distribuição Normal.
- Deve ser tomado um cuidado especial com os instrumentos de medida, que devem estar devidamente calibrados para que não se introduza uma falsa variabilidade no estudo;
- Os ajustes necessários que porventura sejam realizados na máquina devem ser feitos antes do estudo e não devem ser realizadas correções nestes ajustes durante o estudo;
- durante o estudo, no caso de necessidade de troca de ferramenta, dressagens do rebolo, etc., as três últimas peças medidas devem ser retiradas do estudo e, depois da interrupção, deve-se voltar ao mesmo ajuste em que a máquina estava e continuar a coleta dos dados;
- qualquer irregularidade durante a fabricação das peças deve ser anotada para que se possa fazer uma análise da sua influência no estudo. É importante observar o funcionamento da máquina, avanço, rotação, ferramenta utilizada e, principalmente, se são necessários reajustes, repasses de peças etc. Em princípio, reajustes e repasses não são permitidos, porém, em casos críticos, quando há peças que caiam fora da tolerância, eles podem ser autorizados para que não haja prejuízo do lote. Depois de todas as medições terem sido completadas, o estudo poderá prosseguir com o seguinte procedimento.

5.2.2 Procedimento

O procedimento descrito aqui é baseado no procedimento utilizado pela Ford Motor Company.

Esta é uma técnica de análise gráfica. Requer uma matemática simples, nenhuma tabela de referência e nenhum equipamento de apoio especial. Ela tem a vantagem adicional de proporcionar ao Engenheiro de Controle de Qualidade a possibilidade de uma interpretação de quaisquer anormalidades que serão visíveis no gráfico plotado.

O gráfico utilizado para análise encontra-se em anexo no final deste trabalho.

A técnica de construção do gráfico para análise pode ser encontrada nos manuais da Ford (ver bibliografia). Não será explicada aqui pois foge ao escopo deste trabalho.

A análise do gráfico é feita baseando-se no fato de que a distribuição Normal é representada por uma reta traçada num papel Normal.

Quaisquer anormalidades são facilmente visíveis no gráfico, como pode ser visualizado nas figuras "B".

No primeiro caso, a máquina é considerada capaz pois a distribuição das medidas encontra-se dentro dos limites de $\pm 3\sigma$ (ou $\pm 4\sigma$).

No segundo caso, a média das medidas encontra-se superior à ideal. Neste caso, um ajuste de medida na máquina poderá fazer com que a distribuição coincida com a ideal.

No terceiro caso, nota-se que a dispersão dos valores encontrados é maior do que a ideal. Neste caso, a causa poderia ser tão simples como peças fabricadas irregularmente, ou tão complexa como tolerâncias internas da máquina excessivamente grandes, desgaste de rolamentos etc. Se a amplitude pudesse ser reduzida corrigindo a máquina ou o processo, a reta do gráfico se tornaria mais inclinada, trazendo os limites de $\pm 3\sigma$ (ou $\pm 4\sigma$) para dentro da especificação.

OBS.: os limites de $\pm 4\sigma$ só são utilizados no caso de se efetuar o estudo em máquinas novas ou no caso de se introduzir uma nova operação no processo.

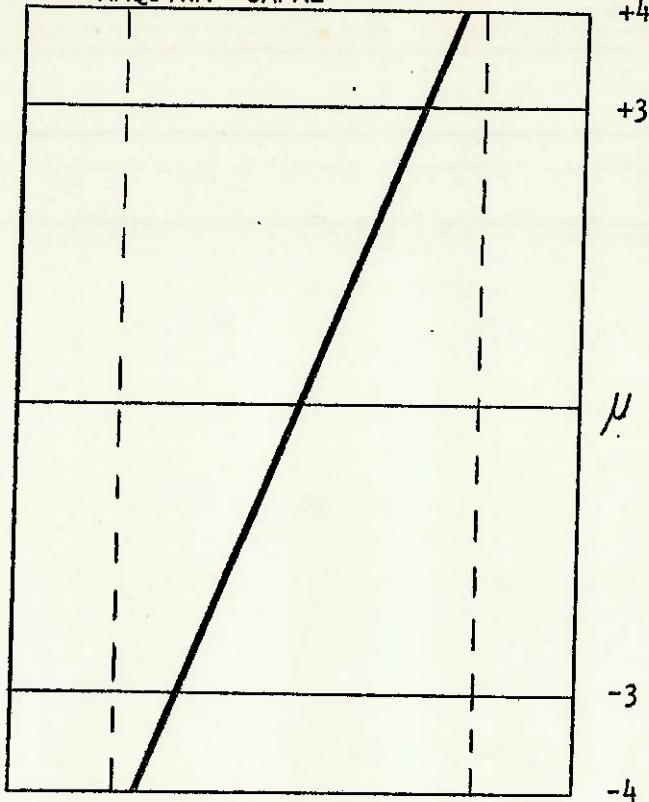
Após a análise dos resultados, devem ser feitos relatórios descrevendo o comportamento da máquina, e circulado para os setores responsáveis pela tomada das ações corretivas necessárias (Eng. de Processos, Manutenção etc.). Após a tomada das ações corretivas, esses departamentos deverão solicitar ao Controle de Qualidade novos estudos de Machine Capability para a referida máquina.

5.3 Controle Estatístico do Processo

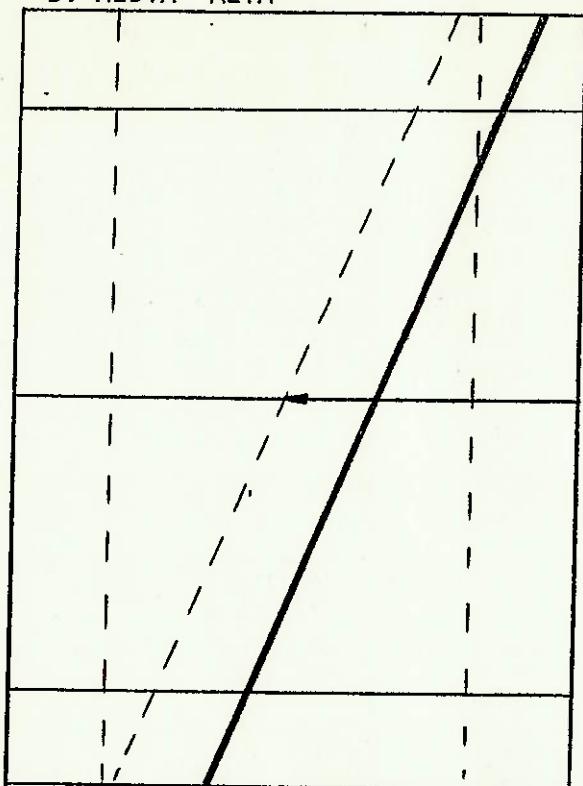
Este é um outro método de controle do processo, sendo que este método normalmente engloba os outros dois métodos anteriormente descritos.

A descrição mais detalhada deste item será feita no próximo parágrafo.

A. MÁQUINA CAPAZ

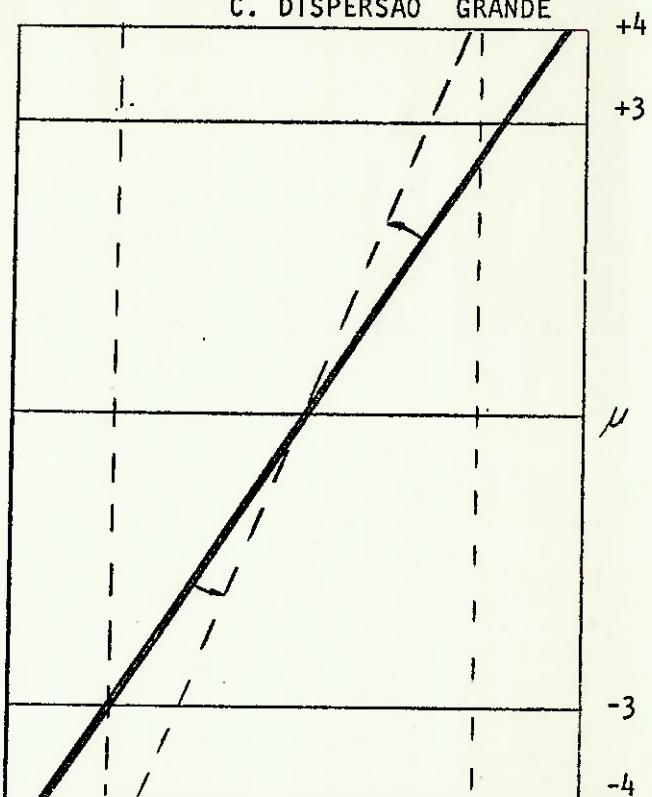


B. MÉDIA ALTA



Limites de
Especificação

C. DISPERSÃO GRANDE



Figuras "A", "B" e "C"

6. CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

6.1 Diretrizes para a Implantação

Essas diretrizes destinam-se a servir de método para a implementação do uso de técnicas estatísticas. Não obstante, é preciso não interpretar esse método como absoluto ou universal.

6.1.1 Conscientização da Gerência

É de capital importância que todos os membros da equipe de operações da fábrica tenham uma sólida compreensão do pensamento estatístico, bem como uma disposição para apoiar o uso de técnicas estatísticas. É sumamente importante que o gerente da fábrica se comprometa com a abordagem estatística do trabalho.

Depois de atingir a conscientização da gerência, esta conscientização deve descer através da cadeia hierárquica até o nível de engenheiro de processo e de analista. Todas as atividades funcionais da fábrica devem ser expostas a essa conscientização, com maior ou menor intensidade. É importante que todos os mensalistas afetados sejam abrangidos pelo trabalho de conscientização principalmente o pessoal do Depto. Produção.

6.1.2 Seleção de Engenheiros e Coordenadores Estatísticos

Convém escolher uma pessoa da fábrica para coordenar os detalhes do programa. Essa pessoa deverá auxiliar no desenvolvimento de planos do programa-piloto, participar na conscientização da gerência e coordenar o treinamento estatístico rudimentar.

É conveniente que este coordenador tenha algum treinamento inicial. Poderá haver necessidade de ulterior treinamento em estatística e/ou solução de problemas dependendo da própria natureza dos problemas. Convém ainda pensar na hipótese de contratação de um estatístico já da Companhia ou mesmo de fora.

6.1.3 Desenvolvimento de um Programa Piloto

Convém selecionar uma ou duas áreas da fábrica para a implantação piloto das técnicas estatísticas. Convém identificar uma operação específica ou série de operações para estudo e controle. Convém que as áreas piloto sejam escolhidas com o máximo de cuidado. As considerações devem abranger:

- A receptividade das pessoas para aprender;
- necessidade de aperfeiçoamento;
- possibilidade de medir o aperfeiçoamento;
- inexistência de interrupções significativas; e
- facilidade de aplicação das técnicas estatísticas.

A Produção, em vez do Controle de Qualidade, deve ser o foco de participação no uso de técnicas estatísticas.

6.1.4 Treinamento Estatístico Rudimentar das Pessoas da Área Piloto

Todas as pessoas deverão receber treinamento estatístico rudimentar em níveis adequados, dependendo dos seus respectivos papéis no trabalho estatístico.

Os mensalistas deverão receber maior treinamento. Os horistas podem receber um treinamento menos rigoroso dependendo do seu papel, interesse e possibilidades.

6.1.5 Revisão de Processos e Máquinas a Estudar

Antes de iniciar o programa piloto é importante verificar se os processos e equipamentos encontram-se em condições operacionais adequadas.

6.1.6 Elaboração do Plano de Amostragem

Esta etapa exige a elaboração de um plano de coleta de dados estatísticos referentes tanto ao produto quanto ao processo. Deve-se considerar questões como:

- Uma ou duas características de produto/processo a serem controladas;
- O número de peças que devem fazer parte da amostra periódica;
- A frequência de amostragem;
- Tipo de técnica estatística para avaliação dos dados;
- Planos para a medição das características;
- Plano para registro dos dados e para fazer a carta; e
- Planos para interpretar tendências etc.

6.1.7 Coleta de Dados

Terminadas as etapas precedentes, deve-se dar início à coleta e registro de dados.

6.1.8 Avaliação

A avaliação dos dados estatísticos para controle do processo deve ser feita a intervalos adequados e pelas pessoas destinadas a esta função. No caso de cartas de controle, os dados iniciais (talvez de uma ou duas semanas) devem ser empregados para o cálculo dos limites de controle. A análise dos resultados deve evidenciar se há necessidade de revisões do processo. Sempre que forem efetuadas mudanças substanciais do processo, os limites de controle devem ser calculados. Quando os resultados forem satisfatórios, o plano de processo e amostragem estarão estabelecidos

6.1.9 Operação do Processo por meio de Técnicas Estatísticas

Isto envolve o contínuo uso das técnicas estatísticas para ajudar a controlar o processo.

6.1.10 Revisão Periódica e Expansão

Com base nos resultados do processo piloto, o método deverá ser adaptado e estendido para outras áreas da fábrica.

6.2. Grupos Especiais de Trabalho

Para auxiliar o processo de implantação do Controle Estatístico do Processo, devem ser criados grupos especiais de trabalho, dependendo da situação da implantação.

6.2.1 Grupo de Monitores

Este grupo é formado por pessoas de diversos departamentos, que tenham realizado o curso de Controle Estatístico e que possuam facilidade de transmitir os ensinamentos adquiridos.

A função deste grupo é ensinar as técnicas básicas de controle estatístico aos funcionários que porventura ainda não fizeram o referido curso, ou para funcionários recém admitidos, ou ainda para uma reciclagem das técnicas estatísticas.

6.2.2 Grupo de Auditores

Também composto por funcionários de diversos departamentos, este grupo é responsável pela passagem das informações de como está ocorrendo a implantação do sistema para a coordenação da implantação.

Nas auditorias são levantados problemas referentes à marcação e preenchimento das cartas estatísticas, dispositivos de medição impróprios para uso ou com falhas, número excessivo de cartas de controle em uma determinada operação, resultando numa grande perda de tempo na marcação das mesmas, resistência oferecida pelo operador quanto a aceitação da implantação do sistema etc.

No caso de se constatar falha nos conhecimentos sobre o assunto em um determinado operador, o auditor deverá acionar o grupo de monitoria para sanar esta falha.

6.2.3 Grupo de Análise das Auditorias

Novamente composto por funcionários de diversas áreas, este grupo tem por finalidade analisar e encaminhar soluções aos problemas levantados pelas auditorias, tais como mudar a frequência de inspeção em uma operação, propor o desenvolvimento de um dispositivo de medição mais adequado etc.

6.3 Introdução ao Controle Estatístico do Processo

6.3.1 Prevenção versus Detecção

Numa abordagem tradicional, afirma-se que a manufatura depende da "produção" para a execução do produto e do "controle de qualidade" para a inspeção do produto final e separação dos itens que não atendam as especificações. Em administração, o trabalho geralmente é verificado e re-verificado para se identificar erros. Em ambos os casos acima descritos envolvem a estratégia de detecção. Isto é dispendioso pois exige investimento de material e trabalho em produtos nem sempre aproveitáveis. A inspeção após-o-fato é uma ação anti-econômica, é dispensiosa, não-confiável e, quando realizada, comprova apenas o desperdício na produção.

É muito mais eficaz evitar os desperdícios adotando-se, em primeiro lugar, a estratégia de não produzir peças fora das especificações, ou seja, a estratégia de prevenção.

Uma estratégia de prevenção configura-se sensata para a maioria das pessoas. É facilmente resumida em slogans tais como "Faça certo na primeira vez". Entretanto, este tipo de diretriz básica apenas não é o bastante. Torna-se necessária a compreensão dos elementos de um sistema de controle estatístico de processo. As seis subseções adiante mostradas tratam destes elementos.

6.3.2 Um Sistema de Controle do Processo

O controle do processo pode ser descrito como um sistema de retroinformação. Quatro elementos desse sistema são importantes para o estudo daquilo que se seguirá:

A.0 Processo - entende-se por processo a combinação total de pessoal, máquinas e equipamentos, métodos e ambiente de trabalho cuja atuação contínua produz o resultado. O desempenho geral do processo - a qualidade deste resultado e sua eficiência produtiva - dependem da forma segundo a qual o processo é idealizado, executado e operado. O controle do processo só apresenta utilidade quando concorre para a melhoria do desempenho desse processo.

B. Informações sobre o Desempenho - muitas informações sobre o desempenho real do processo podem ser obtidas analisando-se o resultado do mesmo. Num sentido mais amplo, o resultado do processo inclui não só aqueles produtos produzidos mas também os "produtos" intermediários que descrevem o estado operacional do processo, itens tais como temperaturas, tempos de ciclo, etc. Quando estas informações são obtidas e interpretadas corretamente podem indicar se há necessidade de uma ação para corrigir o processo, ou somente o resultado recém-

produzido. Se, entretanto, ações oportunas e adequadas não forem executadas, todos os esforços envolvidos na obtenção de informações terão sido inúteis.

C. Ação no Processo - A ação no processo é orientada para o futuro, uma vez que realizada quando é necessária uma ação preventiva para evitar a produção de produtos fora das especificações. Esta ação pode consistir de mudança em operações ou, nos elementos básicos do próprio processo. O efeito das ações deve ser analisado e, se necessário, após isto outras análises e ações devem ser executadas.

D. Ação no Resultado - É orientada para o passado, já que envolve a detecção, após a produção, caso o resultado não satisfaça às especificações, pode ser necessário separar todos os produtos e refugar ou refazer todos os itens não-conformes. Este procedimento deve continuar até que seja executada a necessária ação corretiva no processo ou até que sejam alteradas as especificações do produto.

6.3.3 Variação: Causas Comuns e Especiais

Para utilizar eficientemente os dados de medição no controle do processo, é importante compreender o conceito de variação.

Não há dois produtos de características exatamente iguais entre si porque qualquer processo contém muitas fontes de variação. As diferenças entre produtos podem ser enormes ou, quase imperceptíveis, mas sempre estarão presentes. O diâmetro de um eixo usinado, por exemplo, podem apresentar potenciais mecânicas (tolerância, desgaste de mancal) de ferramentas, do material (diâmetro, dureza), do operador (precisão de centragem), da manutenção (lubrificação) e do ambiente (temperatura, constância na alimentação de energia).

Algumas fontes de variação do processo causam diferenças mínimas de uma peça para outra, por exemplo, folgas de máquina e dispositivo, ou precisão do trabalho do inspetor. Outras causas de variação tendem a ocasionar mudanças no resultado, e que só são perceptíveis após um longo período de tempo, quer gradualmente como consequência do desgaste de máquinas ou ferramentas, quer de forma irregular, devidas por exemplo, às mudanças ambientais tais como picos de potência. Logo, o período de tempo bem como as condições sob as quais são feitas as medições afetarão a variação total medida.

Sob o ponto de vista das exigências mínimas, a preocupação com a variação é bastante simples: peças fabricadas dentro de tolerâncias especificadas são aceitáveis, já aquelas que excedem às especificações são inaceitáveis. Entretanto, para se controlar um processo e reduzir sua variação, esta variação deve ser realizada retroativamente até suas origens. A primeira coisa a fazer é estabelecer a distinção entre

causas comuns e especiais de variação.

As causas comuns referem-se a muitas fontes de variação dentro de um processo que se encontra sob controle estatístico. Estas agem como um sistema constante de causas aleatórias; enquanto seus valores aferidos individualmente se apresentam entre si diferentes, em grupo entre tanto podem ser descritos como uma distribuição. Esta distribuição pode ser caracterizada através de:

- localização (valor típico);
- dispersão (diferença entre valores mínimos e máximos); e
- forma.

As causas especiais referem-se a quaisquer fatores de variação, que não podem ser explicados adequadamente através de uma distribuição simples de resultados, como seria o caso se, porventura, o processo estivesse sob controle estatístico. A menos que todas as causas especiais de variação sejam identificadas e eliminadas, continuarão a afetar, de forma imprevisível, o resultado do processo.

6.3.4 Ações no Local e Ações no Sistema

Há uma importante correlação entre os dois tipos de variação que já foram vistas e os tipos de ações que as reduzem.

As causas especiais de variação podem ser detectadas com técnicas estatísticas elementares. Estas causas de variação não são comuns a todas as operações. A descoberta de uma causa especial de variação e sua eliminação, é comumente responsabilidade do pessoal diretamente envolvido com a operação, embora muitas vezes a gerência esteja em melhor posição para executar esta correção. A eliminação de uma causa especial de variação requer uma ação no local.

A grandeza das causas comuns pode ser indicada com técnicas estatísticas elementares, mas geralmente a sua eliminação requer análise mais detalhada. A correção das causas comuns é responsabilidade da gerência, embora outras pessoas diretamente envolvidas com a operação possam estar em melhor posição para identificá-las e passá-las para a chefia para a devida correção. Em geral, a eliminação de uma causa comum requer uma ação no sistema.

Uma pequena porcentagem dos problemas do processo (cerca de 15%) são corrigíveis no local, pelo pessoal diretamente envolvido com a operação. Os demais 85% são corrigíveis somente através de ação gerencial no sistema. A confusão sobre o tipo de ação a executar é extremamente dispendiosa à organização em termos de esforço desperdiçado, atraso na solução do problema, e ainda o agravamento dos problemas. É errado, por exemplo, agir localmente (ajustar a máquina) quando seria necessária

ria uma ação gerencial no sistema (selecionar fornecedores que fornecam materiais com qualidade uniforme).

6.3.5 Controle do Processo e Capacidade do Processo

O objetivo do controle do processo é gerar decisões economicamente perfeitas para as ações necessárias ao processo. Isto significa balancear os riscos de agir quando a ação não é necessária (super controle) com os riscos de não agir quando a ação é necessária (subcontrole). Estes riscos devem ser contudo considerados diante das duas fontes de variação anteriormente mencionadas - causas especiais e causas comuns.

Diz-se que um processo está operando sob controle estatístico quando a única fonte de variação é de causas comuns. Mas, um estado de controle estatístico não é uma condição natural de um processo de fabricação. É ao invés disto um empreendimento, uma condição obtida através de eliminação, por meio de esforço determinado, das causas especiais de variação excessiva. A função fundamental do controle do processo é fornecer um sinal estatístico quando há ocorrência de causas especiais de variação e, evitar falsos sinais estatísticos quando estas causas não estão presentes. Isto permitirá ações adequadas que eliminarão aquelas causas especiais e evitarão o seu reaparecimento.

A capacidade do processo é determinada através da variação total proveniente de causas comuns - a variação mínima possível de ser encontrada após a eliminação de todas as causas especiais. Por conseguinte, a capacidade representa o desempenho do próprio processo, conforme demonstrado quando tal processo é operado sob condição de controle estatístico. A capacidade é medida usualmente pela porcentagem de resultados encontrados dentro da tolerância da especificação. Uma vez que um processo sob controle estatístico pode ser descrito por meio de uma distribuição previsível, a capacidade pode ser expressa por esta distribuição e, a porcentagem de peças fabricadas fora das especificações pode ser avaliada. Enquanto o processo permanecer sob controle estatístico, continuará a produzir a mesma porcentagem de peças fora de especificação. São necessárias ações gerenciais para reduzir a variação de causas comuns aperfeiçando então a capacidade do processo de atender as especificações. O processo deve ser colocado sob controle estatístico pela percepção e eliminação das causas especiais de variação. Daí então seu desempenho torna-se previsível e sua capacidade de atender as expectativas do cliente poderá ser avaliada. Este é o princípio do aperfeiçoamento contínuo.

6.3.6 Carta de Controle: Ferramenta de Controle do Processo

Foi o Dr. Walter Shewhart, dos laboratórios Bell, enquanto estudava dados de processo na década de 20, quem primeiro estabeleceu a distinção entre variação controlada e não-controlada, devidas respectivamente às causas comuns e especiais. Ele desenvolveu um instrumento simples porém eficaz para fazer a separação das duas: a carta de controle. Desde então, as cartas de controle têm sido utilizadas com sucesso em várias situações que envolvem controle do processo. As cartas de controle direcionam eficientemente as atenções para as causas especiais quando estas aparecem, e refletem o tamanho das causas comuns de variação que devem ser reduzidas pela ação gerencial.

Diversos tipos de cartas de controle foram desenvolvidos tanto para analisar atributos quanto variáveis. Entretanto todas estas cartas apresentam duas funções primárias:

- Julgar e mostrar se um processo tem sido operado sob controle estatístico, e para assinalar a presença de causas especiais para as devidas ações corretivas.
- Manter o estado de controle estatístico entendendo-se os limites de controle como base para decisões imediatas.

O aperfeiçoamento do processo com o uso de cartas de controle é um procedimento iterativo, isto é, repetem-se as fases fundamentais: coleta, controle e capacidade. Primeiro, dados são coletados de acordo com um plano meticoloso; daí estes dados são usados para calcular os limites de controle que são a base da interpretação do controle estatístico; quando o processo estiver sob controle estatístico, poderá ter então sua capacidade avaliada para controlar e ajustar as melhorias no estado de controle e na capacidade, o ciclo recomeça, quando mais dados são coletados, interpretados e usados como base de ação.

A. Coleta: o processo é acionado, e novos dados das características em análise são coletados e convertidos a uma forma que permite sua projeção numa carta. Estes dados podem ser valores medidos de uma determinada cota de uma peça usinada, o número de imperfeições existentes num rolo de vinil, etc.

B. Controle: os limites de controle experimentais são calculados com base nos dados obtidos no próprio processo; eles representam a quantidade de variação possível de ser esperada caso ocorresse apenas a variação proveniente de causas comuns. São desenhados na carta para nos orientar na análise. Os limites de controle não

são objetivos ou limites de especificação, mas reflexo da variabilidade natural do processo. Os dados são comparados com os limites de controle para verificar se a variação é estável e apenas originada por causas comuns. Caso ocorram causas especiais, examina-se a operação a fim de determinar o que afeta o processo. Após terem sido executadas as ações, mais dados são coletados, os limites de controle são recalculados e todas causas especiais novas são estudadas e corrigidas.

C. Capacidade: depois de corrigidas todas as causas especiais, o processo funciona sob controle estatístico, pode-se determinar a capacidade do mesmo. Se a variação de causas comuns é excessiva, o processo não pode gerar resultados que consistentemente atendem as necessidades dos clientes. O processo deve então ser investigado e as ações gerenciais executadas para melhorar o sistema. Para o aperfeiçoamento contínuo do processo, deve-se repetir estas três fases.

6.3.7 Vantagens das Cartas de Controle

E importante resumir algumas vantagens que podem advir do uso de cartas de controle. A lista abaixo inclui ítems comprovados pela experiência.

- A carta de controle é uma simples e eficiente ferramenta para alcançar o estado de controle estatístico. Elas podem ser mantidas no local de trabalho pelo operador. Elas fornecem ao pessoal envolvido na operação, informação confiável de quando agir e de quando não agir.
- Quando um processo está sob controle estatístico, seu desempenho em atender especificação é previsível. Assim, produtor e cliente, podem confiar nos níveis de qualidade, e ambos podem confiar nos custos estáveis necessários para alcançar aqueles níveis de qualidade.
- Estando o processo sob controle estatístico, seu desempenho pode ainda ser melhorado reduzindo-se sua variação. Os efeitos dos aperfeiçoamentos propostos ao sistema podem ser antecipados, e os efeitos reais podem ser identificados pelos dados da carta de controle.
- As cartas de controle estabelecem uma linguagem comum para as comunicações do desempenho do processo entre os dois ou três grupos responsáveis pela operação deste processo; entre a linha de produção e atividades de apoio (manutenção, engenharia de processo, etc.); entre diferentes seções do processo; entre fornecedor e u-

suário; entre local de fabricação/montagem e atividades de engenharia de produto.

- As cartas de controle - por distinguir as causas especiais das comuns - dão indicação segura se os problemas devem ser corrigidos no local ou se requerem ação gerencial. Isso reduz a confusão e o custo de não direcionar adequadamente os esforços para resolver o problema.

6.4 Cartas de Controle para Variáveis

As cartas de controle são ferramentas de grande utilidade quando dispõe de medições de um processo. Como exemplo temos, o diâmetro de um mancal, o esforço dispensado para fechar uma porta, etc. As cartas para variáveis, e especialmente suas formas mais comuns, as cartas \bar{X} (X barra) e R, representam uma demonstração gráfica do controle do processo.

As cartas de controle são particularmente úteis por várias razões:

- A maioria dos processos e seus resultados têm características mensuráveis, por isso seu potencial de aplicação é grande.
- Um valor medido contém mais informações do que uma simples declaração sim-não.
- Embora sendo a medição geralmente mais dispendiosa do que a obtenção de dados tipo passa-não passa, uma quantidade menor de peças precisa ser inspecionada para se obter as mesmas informações a respeito do processo e, portanto, em alguns casos o custo total da medição pode ser menor.
- Devido à quantidade menor de peças a inspecionar antes da tomada de decisões confiáveis, o intervalo de tempo entre a produção das peças e a ação corretiva pode ser reduzido novamente.
- Com dados variáveis, o desempenho de um processo pode ser analisado mesmo se todos os valores individuais atenderem aos limites da especificação; isto é importante na procura do aperfeiçoamento contínuo e sem-fim.

As cartas para variáveis expõem os dados do processo em termos de sua dispersão e sua localização (média do processo). Por isso que as cartas de controle para variáveis são quase sempre feitas e analisadas aos pares, uma para localização e outra para dispersão. As cartas mais comuns são as \bar{X} e R. \bar{X} é a média dos valores que compõe pequenos subgrupos; R é a amplitude dos valores de cada subgrupo (maior menos o menor), uma medida de dispersão.

As cartas \bar{X} e R são tratadas mais detalhadamente na subseção 6.4.1. A subseção 6.4.2 aborda as cartas \bar{X} e s, a subseção 6.4.3 trata das cartas das medianas, enquanto que a subseção 6.4.4 trata das cartas de individuais.

6.4.1 Cartas \bar{X} e R

As cartas \bar{X} e R exigem, antes do seu uso, algumas fases preparatórias:

- Estabelecer ambiente próprio para ação. Todo método estatístico falhará em seu intento a menos que a gerência prepare um ambiente receptivo e hábil. O temor na organização, que inibe a sinceridade das pessoas, deve ser eliminado. O pessoal que não conhece seu trabalho deve ser treinado. As pessoas devem ser analisadas pela qualidade e não somente pela quantidade. A gerência deve providenciar os meios para viabilizar as ações de aperfeiçoamento.
- Definir o processo. O processo deve ser compreendido quanto às suas relações com outras operações, seja daquele ponto para frente ou para trás, bem como em termos de seus elementos que o efeta em todos os seus estágios. O diagrama de causa-efeito pode auxiliar na determinação e visualização destas relações além do que permite reunir a experiência de várias pessoas que comprehendem o processo sob diferentes aspectos.
- Determinar as características a controlar. Os estudos devem ser concentrados nas características mais promissoras quanto ao aperfeiçoamento do processo.
- Definir o sistema de medição. Uma característica deve ser operacionalmente definida, para que os resultados possam ser comunicados a todos com o mesmo significado hoje tal qual significava ontem. Isto implica em especificar qual informação deve ser coletada, aonde, como e sob qual condições. O equipamento de medição deve ser previsível quanto a sua centralização e dispersão. A definição da característica afeta o tipo de carta de controle a ser usada.
- Minimizar as variações inúteis. As causas de variações desnecessárias devem ser eliminadas antes do início de qualquer estudo. Isto pode significar uma simples olhada no processo se ele está sendo operado conforme o desejado, ou pode significar um estudo para conhecer os materiais envolvidos, etc. O propósito é evitar os problemas que podem e devem ser corrigidos sem o uso de cartas de controle tais como excesso de ajustamentos ou super-controle do processo. Sempre um diário de bordo do processo deve ser mantido com notas de todos os eventos significativos tais como mudanças no ferramental, novos lotes de matéria-prima, etc. Este diário de bordo ajudará a análise dos problemas que se seguem.

Passo 1. Coleta de Dados

As cartas \bar{X} e R, em pares, são desenvolvidas a partir de mensurações de determinadas características do processo. Os dados são relacionados em pequenos subgrupos de tamanho constante, comumente constituídos de 2 a 5 peças consecutivas, e tomados periodicamente. Um

plano de coleta de dados deve ser desenvolvido e utilizado para coletar, anotar e projetar os dados na carta de controle.

1A. Escolha do tamanho, frequência e quantidade de subgrupos

- Tamanho do subgrupo

A primeira etapa de importância fundamental na construção de cartas de controle para variáveis é a determinação de "subgrupos racionais" que fixam a eficiência da carta de controle na qual são utilizados. Os subgrupos devem ser escolhidos de forma que seja pequena a variação entre as unidades que o compõe. Se a variação interna de um subgrupo representa a variação peça-a-peça num pequeno período de tempo, então qualquer variação não comum entre os subgrupos representará uma modificação do processo que deverá ser investigada para a execução das ações apropriadas. Para o estudo inicial de um processo, os subgrupos podem ser constituídos de 4 ou 5 peças produzidas consecutivamente com uma ferramenta apenas, um cabeçote, uma matriz de fundição, etc. Isso significa que todas as peças de um subgrupo devem ser produzidas sob condições de produção muito parecidas, num intervalo de tempo muito reduzido; consequentemente a variação observada dentro de cada subgrupo representa as causas comuns. O tamanho das amostras deve permanecer constante em todos os subgrupos.

- Frequência do subgrupo

O objetivo é detectar continuamente as modificações de um processo. Os subgrupos deverão ser coletados com suficiente frequência, e nos instantes apropriados, para que mostrem todas as modificações em potencial. Tais causas potenciais de modificação podem ser: aquecimentos em geral, lotes de materiais, etc.

Durante o estudo inicial de um processo, os subgrupos são verificados de forma consecutiva e com grande frequência para detectar a ocorrência ou não de alterações e instabilidades em curtos períodos de tempo. À medida que o processo adquire estabilidade, o período de tempo entre cada subgrupo pode ser aumentado. A frequência para a análise contínua da produção poderá ser de duas vezes por turno, por hora, etc. A quantidade de subgrupos deve satisfazer dois critérios: uma quantidade suficiente de subgrupos deverão ser coletados para garantir que as mais importantes fontes de variação tenham a oportunidade de aparecer; este enfoque visa o processo. Uma quantidade de 25 ou mais subgrupos contendo cem ou mais leituras individuais permitem um bom teste de estabilidade e se estável, permite boa estimativa da localização e dispersão do processo.

Em certos casos, os dados já existentes podem concorrer para a agilização da etapa inicial do estudo. Entretanto, só devem ser usados se atualizados e com perfeita compreensão da definição dos mesmos.

1B. Elaboração das cartas de controle e registro dos dados básicos

As cartas \bar{X} e R são normalmente compostas assim: na parte superior \bar{X} , no meio R, e na parte inferior um bloco de dados (ver anexo). Os valores de \bar{X} e R compõem as escalas verticais enquanto que a sequência dos subgrupos, com o passar do tempo, constitui a escala horizontal. Os valores dos dados e os pontos projetados para as médias e para as amplitudes, devem estar verticalmente alinhados. O bloco de dados tem espaço para cada uma das leituras individuais. Também há espaço para a soma das leituras, a média (\bar{X}), a amplitude (R), a data/hora referente ao subgrupo e qualquer outra identificação do subgrupo. Todos os valores individuais devem ser registrados, além da identificação de cada subgrupo.

1C. Cálculo das médias (\bar{X}) e amplitude (R) de cada subgrupo

As características a serem projetadas são a média das amostras (\bar{X}) e a amplitude das amostras (R) de cada subgrupo; estas representam a média do processo e sua variabilidade, respectivamente. O cálculo para cada subgrupo é:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$R = x_{\text{máximo}} - x_{\text{mínimo}}$$

Onde x_1, x_2, \dots são os valores individuais de cada subgrupo e n é o tamanho da amostra ou subgrupo.

1D. Escolha das escalas para cartas de controle

As escalas verticais das duas cartas, destinam-se aos valores de \bar{X} e R, respectivamente. As diretrizes básicas para a determinação das escalas são de grande utilidade embora possam ser alteradas em circunstâncias particulares. Na carta \bar{X} , a diferença entre os valores máximo e mínimo da escala deve, no mínimo, conter 2 vezes a diferença entre a maior e a menor média dos subgrupos. Na carta R, os valores devem estender-se a partir do valor inferior representado por zero até um valor superior de 2 vezes a maior amplitude (R) encontrada durante o período inicial.

1E. Projeção das médias e amplitudes em cartas de controle

Faça a projeção das médias e amplitudes em suas respectivas cartas. Conecte os pontos com linhas para ajudar a visualização de configurações e tendências.

Faça uma ligeira verificação se os pontos projetados se apresentam razoáveis; se alguns pontos estiverem destoantes, altos ou baixos em relação aos outros, faça uma averiguação dos cálculos e projeções. Certifique-se de que os pontos projetados correspondentes a \bar{X} e R estejam alinhados numa vertical.

Passo 2. Cálculo dos limites de controle

Os limites de controle são determinados primeiramente para a carta das amplitudes e depois para a carta das médias. O cálculo dos limites de controle das cartas para variáveis emprega fatores representados por letras nas fórmulas. Estes fatores - que variam conforme o tamanho da amostra - são apresentados em tabelas que acompanham as respectivas fórmulas.

2A. Cálculo da média das amplitudes (R) e da média do processo (\bar{X})

Para o período de estudo, calcula-se:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$$

Onde k é o número de subgrupos, R_1 e \bar{X}_1 são a amplitude e a média do primeiro subgrupo, R_2 e \bar{X}_2 são do segundo subgrupo, etc.

2B. Cálculo dos limites de controle.

Os limites de controle são calculados para mostrar o grau de variação das amplitudes e médias dos subgrupos quando somente causas comuns de variação ocorrem. Baseia-se no tamanho das amostras e na variabilidade total interna do subgrupo refletida pelas suas amplitudes. Para o cálculo dos limites superior e inferior de controle para amplitudes e médias as fórmulas são:

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

onde D_4 , D_3 e A_2 são fatores que variam conforme o tamanho da amostra e estão representadas no apêndice A.

2C. Traçado das linhas médias e limites de controle nas cartas.

A média das amplitudes (\bar{R}) e a média do processo ($\bar{\bar{X}}$), são traçadas com linhas cheias enquanto que os limites de controle (LSC_R , LIC_R , $LSC_{\bar{X}}$, $LIC_{\bar{X}}$) com linhas tracejadas; estas linhas devem ser identificadas. Durante a fase inicial do estudo, estes limites são considerados experimentais.

Passo 3. Interpretação do controle do processo.

Os limites de controle podem ser interpretados da seguinte maneira: se a variabilidade de peça-a-peça bem como sua média permanecerem constantes em seus níveis atuais (estimados através de \bar{R} e $\bar{\bar{X}}$ respectivamente), as amplitudes (R) e as médias (\bar{X}) dos subgrupos variarão unicamente ao acaso, e raramente ultrapassarão os limites de controle (menos de 1% das vezes para amplitudes e apenas 0,27% das vezes para médias). O objetivo da análise da carta de controle é identificar qualquer evidência de não constância na variabilidade ou na média do processo - que mostra não estar o mesmo sob controle estatístico - e tomar as medidas adequadas ao caso.

3A. Análise da projeção dos dados na carta de amplitudes.

Uma vez que tanto a interpretação das amplitudes quanto a das médias dos subgrupos dependem da estimativa da variabilidade peça-a-peça, a carta R deve ser analisada primeiro. As posições dos pontos são comparadas com os limites de controle para constatação de pontos que tenham ultrapassado estes limites; analisa-se também a presença de configurações ou tendências não usuais.

1. Pontos além dos limites de controle - A ocorrência de um ou mais pontos além dos limites de controle é evidência primária de que tais dados não estão sob controle. Como esse ponto além

dos limites de controle seria raro se houvesse apenas variações oriundas de causas comuns, chega-se à conclusão que uma causa especial é responsável por esse valor extremo. Por conseguinte, qualquer ponto além de um limite de controle é o sinal para uma análise imediata da operação para descobrir a causa especial.

Um ponto situado acima do limite superior de controle para amplitudes (LSC_R) geralmente é sinal de que:

- O limite de controle ou o ponto projetado foram calculados de forma incorreta ou a projeção não foi feita corretamente, ou
- A variabilidade peça-a-peça ou a disposição da distribuição aumentou (ou seja, piorou) tanto naquele ponto, num certo instante, quanto como consequência de uma tendência, ou
- O sistema de medição foi modificado (por exemplo, outro inspetor ou outro instrumento de medição).

Um ponto situado abaixo do limite inferior de controle para amplitudes (LIC_R) indica geralmente que:

- O limite de controle ou o ponto projetado estavam errados, ou
- A dispersão da distribuição diminuiu (ou seja, melhorou), ou
- O sistema de medição foi modificado (incluindo-se correção ou alteração dos dados).

Configurações ou tendências dentro dos limites de controle - a presença de configurações ou tendências não usuais, mesmo quando todos os pontos se encontram dentro dos limites de controle, pode ser evidência de uma condição de não-controle ou alteração na dispersão do processo durante o período relativo a essa configuração ou tendência. Isso pode ser um aviso antecipado de condições desfavoráveis que deverão ser corrigidas antes mesmo que os pontos sejam vistos além dos limites de controle. Por outro lado, certas configurações ou tendências podem ser favoráveis e deverão ser estudadas para possível aperfeiçoamento permanente do processo.

2. Distância dos pontos até \bar{R} - aproximadamente $2/3$ dos pontos de dados devem situar-se dentro do terço médio da região entre os limites de controle; cerca de $1/3$ dos pontos devem situar-se nos terços daquela região.

Se uma quantidade substancialmente maior que $2/3$ de pontos de

dados encontram-se junto ao \bar{R} , verifique se:

- Os limites de controle ou a projeção dos pontos foram calculados ou projetados incorretamente, ou
- O processo e/ou método de amostragem estão estratificados; cada subgrupo contém, sistematicamente, medições de dois ou mais fluxos do processo, os quais apresentam amplitudes médias muito diferentes entre si (por exemplo, oriundas de cada uma das árvores de uma máquina), ou
- Os dados foram corrigidos (valores bastante desviados da média foram alterados ou eliminados).

Se uma quantidade substancialmente menor que 2/3 dos pontos de dados encontram-se perto do \bar{R} , verifique se:

- Os limites de controle ou pontos projetados foram calculados ou projetados incorretamente, ou
- O processo ou o método de amostragem fazem com que os subgrupos sucessivos contenham medições de dois ou mais fluxos do processo que apresentam amplitudes médias diferentes ou variação dramaticamente diferentes (por exemplo, lotes de matérias-prima misturadas).

Quando existem diversos fluxos de um mesmo processo, estes devem ser identificados e acompanhados separadamente.

3. Tendências - A seguir estão os sinais que indicam o início de um deslocamento ou tendência num processo:

7 pontos consecutivos que aumentam consistentemente (pontos iguais ou maiores que os precedentes), ou que diminuem consistentemente.

7 pontos consecutivos, todos acima ou abaixo da média.

Assinale o ponto que induz a decisão; este pode ser útil para traçar uma linha de referência até o ponto inicial da tendência. A análise deve levar em consideração o instante aproximado em que começou tal tendência ou deslocamento.

Um deslocamento para cima da média das amplitudes ou uma tendência ascendente significa:

- Maior dispersão dos resultados, fato que poderia estar sendo ocasionado por alguma irregularidade (por exemplo, o mau funcionamento de determinado equipamento), ou poderia ser proveniente de um deslocamento na distribuição dos resultados (por

- exemplo, um novo e menos uniforme lote de matéria-prima); estes são problemas que exigem, usualmente, correção; ou
- Uma modificação no sistema de medição (por exemplo, um outro inspetor ou um novo instrumento de medição).

Um deslocamento para baixo da média das amplitudes ou uma tendência descendente significa:

- Dispersão menor dos resultados que é usualmente uma boa condição, devendo ser estudada para aplicação mais ampla, ou
- Uma alteração no sistema de medição que mascara as verdadeiras alterações de desempenho.

Nota: Quando o tamanho da amostra (n) torna-se muito pequeno, a probabilidade de deslocamentos para baixo de \bar{R} aumenta, e portanto são necessários 8 ou mais pontos para assinalar uma verdadeira redução da variabilidade do processo.

3B. Determinação e correção de causas especiais (Carta de amplitudes).

Para cada indicação de causa especial nos dados de amplitudes, faça uma análise do processo, para determinar a origem da mesma. Corrija essa condição e tome as medidas preventivas para evitar que ocorra novamente. A carta de controle por si só já representa um guia valioso para a análise do problema, pelo fato de indicar o momento em que teve início essa condição e durante quanto tempo ela persistiu.

O fator tempo é de grande importância na análise do problema, quer em termos de minimizar a produção de resultados não conforme, quer em termos de obter evidências para diagnóstico. Por exemplo: o surgimento de um simples ponto além dos limites de controle é motivo para começar uma análise imediata do processo.

Deve-se enfatizar que a solução do problema - frequentemente - representa a etapa mais difícil e mais demorada. Enquanto o sinal estatístico da carta de controle é usado como um ponto de partida, as explicações para o comportamento encontram-se no próprio processo e também nas pessoas envolvidas com o mesmo. Meticulosidade, paciência, perspicácia e compreensão são as qualidades necessárias para planejar ações que certamente melhoram o desempenho.

3C. Novo cálculo dos limites de controle (Carta de amplitudes).

Quando se realiza um estudo inicial do processo, ou se faz uma nova determinação de sua capacidade, deve-se calcular os limites de controle a fim de eliminar os efeitos de períodos em não-controle cujas causas já tenham sido corrigidas. Exclua todos os subgrupos afetados pela causa especial que foi corrigida, recalcule então e trace a nova média (\bar{R}) e novos limites de controle. Verifique se todos os pontos de amplitudes apresentam-se sob controle quando comparados com os novos limites, repetindo a sequência identificação/correção/novo cálculo, se necessário.

Se alguns subgrupos foram excluídos da carta R devido terem sido identificados como causas especiais, devem também, ser excluídos da carta \bar{X} . O \bar{R} e $\bar{\bar{X}}$ revisados devem ser utilizados para recalcular os limites de controle experimentais das médias, $\bar{\bar{X}} \pm A_3 \bar{R}$.

Nota: A exclusão de subgrupos que representam condições de instabilidade não é somente um "jogar fora maus dados". Também pela exclusão de pontos afetados por causas especiais conhecidas, resulta uma melhor estimativa do nível de variação devido às causas comuns. Consequentemente isto dá melhores valores para os limites de controle usados para assinalar futuras ocorrências de causas especiais de variação.

3D. Análise da projeção de dados na carta das médias.

Quando as amplitudes estão sob controle estatístico, a dispersão do processo - a variação interna dos subgrupos - é considerada estável. As médias podem então ser analisadas para ver se a localização do processo está mudando continuamente. Se as médias estão sob controle estatístico, elas mostram unicamente a variação total vista nas amplitudes - a variação de causa comum do sistema. Se as médias não estão sob controle, algumas causas especiais de variação estão tornando instável a localização do processo.

1. Pontos além dos limites de controle - A presença de um ou mais pontos além de um limite de controle é evidência primária da existência de causas especiais nesse ponto.

É o sinal para a análise imediata da operação. Assinale esses pontos na carta.

Um ponto além de um dos limites de controle é geralmente um sinal de que:

- O limite de controle e/ou o ponto projetado estão errados, ou
- O processo deslocou-se, por exemplo só nesse ponto, num determinado instante (possivelmente um incidente isolado), ou como consequência de uma tendência, ou
- O sistema de medição foi modificado (por exemplo, um instrumento de medição ou um inspetor diferente).

Configurações ou tendências dentro dos limites de controle - A presença de configurações ou tendências não-usuais pode ser índice de condição de não-controle ou mudança de capacidade durante o período em que ocorrem.

2. Distância dos pontos à média do processo - idem à carta das amplitudes.
3. Tendências - idem à carta das amplitudes.

3E. Detrminação e correção de causas especiais (Carta das médias)

Para cada indicação de uma condição de não-controle nos dados das médias, faça uma análise na operação do processo a fim de determinar a razão desta causa especial; corrija essa condição e tome medidas para evitar que a mesma ocorra novamente. Use os dados da carta como um guia para ver quando começa o problema e seu tempo de duração. O fator tempo é importante na análise, tanto para o diagnóstico como para minimizar o resultado não-conforme.

Técnicas de resolução de problemas podem ajudar (por exemplo - o Gráfico de Pareto)

3 F. Novo cálculo dos limites de controle (Carta das médias)

Quando se efetua um estudo inicial do processo ou a redeterminação de sua capacidade deve-se excluir todos os pontos de não-controle cujas causas especiais tenham sido determinadas. Calcule novamente a média do processo e os limites de controle. Verifique se todos os pontos apresentam-se sob controle quando comparados com os novos limites e repita a sequência identificação/correção/novo cálculo, se necessário.

Nota:As abordagens precedentes objetivam apresentar uma introdução funcional à análise da carta de controle. Há, entretanto, ou-

tras considerações que podem ser úteis ao analista. Um dos pontos mais importantes a lembrar é que, mesmo com processos que se acham sob controle estatístico, quanto maior o número de dados revistos, maior a chance de obter um falso sinal de causa especial.

Embora seja aconselhável investigar todos os eventos indicados como indícios prováveis de causas especiais, deve-se admitir que podem ter sido causadas pelo sistema e pode não haver nenhum problema com o processo. Caso não seja encontrada nenhuma evidência de problema no processo, toda ação "corretiva" provavelmente servirá para aumentar, ao invés de reduzir a variabilidade total do resultado do processo.

3 G. Extensão dos limites de controle para o controle contínuo.

Quando os dados iniciais (ou históricos) estão contidos dentro dos limites de controle experimentais, pode-se estender estes limites para cobrir os períodos com o operador e a supervisão local, respondendo às condições de não-controle em ambas as cartas \bar{X} e R com ações imediatas.

Uma alteração no tamanho da amostra pode afetar a amplitude média esperada e os limites de controle tanto para as amplitudes quanto para as médias. Esta situação pode ocorrer, por exemplo, caso se decida considerar amostras menores com mais frequência para detectar deslocamentos do processo com mais rapidez, sem aumentar o total de peças amostradas por dia. Para ajustar as linhas centrais e os limites de controle para um novo tamanho da amostra, deve-se seguir as seguintes etapas:

1. Calcular o desvio padrão do processo (a estimativa é representada através de $\hat{\sigma}$). Usando o tamanho de amostra atual calcular:

$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$ onde \bar{R} é a média das amplitudes de subgrupo (para períodos de amplitude controlada) e d_2 é um fator que depende do tamanho da amostra, conforme mostrado no apêndice A.

2. Utilizando os fatores tabelados d_2 , D_3 , D_4 e A_2 baseados no tamanho da nova amostra, calcule a nova amplitude e novos limites de controle:

$$R_{\text{novo}} = \hat{\sigma} d_2 \quad LISC_R = D_4 \bar{R}_{\text{novo}} \quad LISC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}_{\text{novo}}$$
$$LIC_R = D_3 \bar{R}_{\text{novo}} \quad LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}_{\text{novo}}$$

Faça o traçado destes novos limites de controle na carta e use-os para o controle contínuo do processo.

Os limites de controle contínuo devem ser estendidos unicamente aos 20-25 subgrupos seguintes. Caso o processo permaneça sob controle com médias e amplitudes mantendo seus respectivos níveis, os limites para o controle contínuo poderão ser estendidos aos períodos seguintes. Contudo, se houver evidência que a média (\bar{X}) ou amplitude (R) do processo mudaram (qualquer que seja a direção), os limites de controle deverão ser recalculados com base no desempenho do processo daquele momento.

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo

Determinado que o processo se encontra sob controle estatístico, permanece ainda a questão referente à capacidade do mesmo - ou seja, é aceitável o seu desempenho em relação às especificações?

Quando a capacidade não é aceita, uma decisão importante precisa ser tomada no sentido de executar ações que melhorem seu desempenho já que a capacidade reflete variações de causas comuns, as quais, quase sempre exigem ação gerencial no sistema para corrigi-las.

O procedimento para avaliar a capacidade do processo começa após a resolução dos problemas em ambas as cartas \bar{X} e R (causas especiais identificadas, analisadas, corrigidas e tomadas medidas preventivas para evitar que ocorram novamente), e as cartas de controle continuamente mostram um processo que se encontra sob controle estatístico para 25 ou mais subgrupos. Isso requer a comparação da distribuição dos resultados do processo com as especificações a fim de comprovar se as mesmas foram plenamente atendidas.

Há diversas técnicas para avaliar a capacidade de um processo sob controle estatístico. Algumas delas, como por exemplo o método descrito abaixo, consideram que o resultado do processo configura-se numa distribuição normal. Quando não se sabe se a distribuição é normal, deve-se fazer um teste para verificar essa condição. Caso haja suspeita ou confirmação de não-normalidade, técnicas outras devem ser utilizadas, como, por exemplo, o ajuste computadorizado da curva ou análise das cartas.

A técnica de avaliação da capacidade apresentada a seguir, envolve apenas cálculos simples baseados em dados da carta de controle. A média do processo \bar{X} é usada como a posição da distribuição. Como

medida de dispersão usa-se o desvio padrão calculado através de uma fórmula simples que envolve a média das amplitudes \bar{R} . Considera-se que a forma deve ser normal, caso esta hipótese não seja verdadeira, os resultados serão incorretos.

4A. Cálculo do desvio padrão do processo

Uma vez que a variabilidade interna do subgrupo é mostrada pelas amplitudes dos subgrupos, a estimativa do desvio padrão do processo $\hat{\sigma}$ pode se basear na amplitude média (\bar{R}). Calcula-se:

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

onde \bar{R} é a média das amplitudes de todos os subgrupos (em períodos de amplitude sob controle), e d_2 é um fator que depende do tamanho da amostra, conforme apêndice A.

Esta estimativa do desvio padrão do processo ($\hat{\sigma}$) pode ser empregada na avaliação da capacidade do processo, enquanto o processo permanecer sob controle o que é visível na carta das médias e na carta das amplitudes.

4B. Cálculo da capacidade do processo

A capacidade pode ser descrita pelo afastamento que a média do processo apresenta dos limites de especificações em unidades de desvio padrão, Z .

- Para uma tolerância unilateral, calcula-se:

$$Z = \frac{LE - \bar{X}}{\hat{\sigma}}$$

onde LE = limite de especificação, \bar{X} = média do processo, e $\hat{\sigma}$ = desvio padrão do processo.

- Para tolerâncias bilaterais, calcula-se:

$$Z_U = \frac{LSE - \bar{X}}{\hat{\sigma}}$$

$$Z_L = \frac{\bar{X} - LIE}{\hat{\sigma}}$$

$$Z_{min} = \text{mínimo de } (Z_U \text{ ou } Z_L)$$

onde LSE, LIE = limites superior e inferior da especificação. Z pode ser usado conjutamente com a tabela da distribuição normal (apêndice E) para estimar a porcentagem do resultado que excede às especificações (considerando-se o processo sob controle estatístico e com distribuição normal).

- Para uma tolerância unilateral, localize o valor de Z ao longo das margens da tabela no apêndice E. As unidades e dígitos decimais localizam-se na linha superior. O número mostrado no ponto em que coluna e linha se interceptam é P_Z , a porcentagem fora da especificação. Por exemplo, para $Z = 1,56$ a intersecção da linha do valor 1,5 com a coluna x,x6 apresenta o resultado $P_Z = 0,0594$.
- Para uma tolerância bilateral, calcule as porcentagens além dos limites superior e inferior da especificação, separadamente. Por exemplo, se $Z_U = 2,21$ e $Z_L = 2,85$, o valor total além da especificação é $P_{Z_U} + P_{Z_L} = 0,0136 + 0,0022 = 0,0158$.

O valor Z_{min} pode ser também convertido a um índice de Capacidade C_{pk} definido como:

$$C_{pk} = \frac{Z_{min}}{3\hat{\sigma}} = \text{Mínimo de } \frac{LSE - \bar{X}}{3\hat{\sigma}} \text{ ou } \frac{\bar{X} - LIE}{3\hat{\sigma}}$$

onde LSE e LIE são as especificações de engenharia superior e inferior, \bar{X} é a média do processo, e $\hat{\sigma}$ é o desvio padrão do processo.

Um processo com $Z_{min} = 3$ pode ser descrito como tendo uma capacidade de $\pm 3\sigma$ ou seja, o índice de capacidade vale $C_{pk} = 1,00$. Se $Z_{min} = 4$, o processo tem uma capacidade de $\pm 4\sigma$ ou seja, $C_{pk} = 1,33$.

4C. Avaliação da capacidade do processo

Neste ponto, o processo já foi colocado sob controle estatístico e sua capacidade foi descrita em termos de Z_{min} ou C_{pk} . A etapa seguinte consiste em avaliar a capacidade do processo em termos de atender as exigências do cliente.

O objetivo fundamental é uma melhoria contínua e sem-fim do desempenho do processo. A curto prazo, entretanto, deve-se estabelecer

as prioridades, ou quais processos exigem atenção em primeiro lugar. Esta é, essencialmente, uma decisão econômica. As circunstâncias variam de um caso a outro, dependendo da natureza do processo em questão e do desempenho de outros processos que eventualmente seriam, também, objeto de uma ação imediata de melhoria.

Embora uma decisão dessa natureza deva ser tomada individualmente, é sempre útil utilizar diretrizes mais amplas a fim de estabelecer prioridades e permitir a consistência dos esforços de melhoria. Por exemplo, certos procedimentos referem-se genericamente às exigências de capacidade $\bar{X} \pm 3\sigma$ ($Z_{min} \geq 3$, ou $C_{pk} \geq 1,00$) e ainda mais, específica capacidade $\bar{X} \pm 4\sigma$ ($Z_{min} \geq 4$, ou $C_{pk} \geq 1,33$) para novos processos que afetam "item de controle" ou quaisquer outras características significativas. Estas exigências têm a finalidade de garantir um nível mínimo de desempenho, compatível com características, produtos e fabricantes.

Quando há um critério de capacidade, simplifica-se a regra decisória: processos que não tenham condições de atender ao critério, exigem ação imediata. Assim, há uma gama limitada de opções:

- Escolha o resultado e refugue ou retrabalhe todo o produto que não atenda às especificações (uma maneira dispendiosa e não confiável que gera contínuo desperdício); ou
- Solicite a alteração da tolerância da especificação do produto para torná-la compatível com a real capacidade do processo (uma medida gerencial que não melhora a qualidade do produto e que só seria aprovada caso não compromettesse a intenção do projeto)
- Melhore a capacidade do processo pela redução da variação proveniente de causas comuns (solução a longo prazo-melhoria contínua).

Mesmo quando não há critério de capacidade explícito, ou quando o critério de capacidade é satisfeito (por exemplo, $Z_{min} \geq 4$), é sempre vantajoso procurar o aperfeiçoamento contínuo do processo / através da redução de sua variação devida a causas comuns.

4D. Correção da capacidade do processo

Os problemas que regem uma capacidade de processo não aceitável decorrem usualmente de causas comuns. Ações corretivas devem ser executadas para eliminar os fatores responsáveis pela variabilidade do processo, tais como desempenho da máquina, consistência dos

materiais recebidos, métodos através dos quais o sistema opera, métodos de treinamento ou mesmo o ambiente de trabalho. Em geral as causas relacionadas com sistema e responsáveis pela não-capacidade do processo, escapam à habilidade de operadores ou à ação da supervisão local em corrigi-las. Ao invés disso, exigem a intervenção da gerência para promover as mudanças, distribuir recursos e providenciar a coordenação necessária à melhoria da capacidade do processo. As tentativas de corrigir falhas do sistema por medidas locais de pequeno alcance não tem sucesso.

4E. Uso da carta e análise do processo revisto

Quando ações sistemáticas são executadas sobre o processo, seus efeitos são visíveis na carta de controle, principalmente em termos da redução de amplitudes. A carta torna-se o meio de verificar a eficiência destas ações.

Quando uma alteração do processo é implementada, a carta de controle deve ser analisada com muita atenção. Este período de mudança pode alterar as operações, causando - potencialmente - novos problemas capazes de reduzir o efeito da mudança feita no / sistema.

Após a eliminação de todas as instabilidades ocorridas durante o período de mudança, a capacidade do novo processo deve ser / avaliada e novos limites de controle serão destinados às futuras operações.

6.4.2. Cartas X e s

As cartas X e s tal como as \bar{X} e R, são elaboradas com dados medidos nos resultados do processo e são sempre usadas aos pares. As cartas de amplitude foram desenvolvidas para medir a variabilidade do processo devido a facilidade de cálculo da amplitude bem como, são relativamente eficientes para tamanhos de amostra pequenos (especialmente se inferiores a 8). O desvio-padrão (s) da amostra, é um melhor indicador da variabilidade do processo, principalmente quando empregado para tamanhos de amostra maiores. Con tudo seu cálculo é mais complexo e menor é sua sensibilidade em captar as causas especiais de variação quando estas decorrem de um único valor não comum aos demais de dado subgrupo. As cartas s são usadas para substituir as cartas R quando:

- Os dados são registrados e/ou projetados por computador de maneira que a rotina de cálculo do s pode ser facilmente executada, ou
- A disponibilidade de uma calculadora de bolso torna a computação de s, tarefa simples e rotineira, ou
- São usados tamanhos de amostra de subgrupo grandes, sendo apropriada uma média mais sensível da variação.

Os detalhes de instrução para as cartas \bar{X} e s, são similares aquelas das cartas \bar{X} e R.

Passo 1. Coleta de dados (idem para a carta \bar{X} e R; as exceções / são relacionadas a seguir).

- Se os dados são em grande quantidade estes são registrados -frequentemente - numa tabela separada da carta propriamente dita, / apresentando esta tabela apenas o s e o \bar{X} dos vários subgrupos.
- O cálculo de cada um dos desvios-padrão das amostras (s), é feito empregando-se uma das seguintes fórmulas:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum x_i - n\bar{x}^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2 - n\bar{x}^2}{n-1}}$$

onde x_1 , \bar{x} , e n representam os valores individuais do subgrupo, média e tamanho da amostra.

- A divisão de escala para a carta s deve ser a mesma daquela adotada para a carta \bar{X} correspondente.

Passo 2. Cálculo dos limites de controle (idem à carta \bar{X} e R; as execções estão relacionadas abaixo)

- Cálculo dos limites superior e inferior de controle para desvios padrão e médias (LSC_s , LIC_s , $LSC_{\bar{x}}$, $LIC_{\bar{x}}$):

$$LSC_s = B_4 \bar{s}$$

$$LIC_s = B_3 \bar{s}$$

$$LSC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + A_3 \bar{s}$$

$$LIC_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - A_3 \bar{s}$$

onde \bar{s} é a média dos desvio-padrão das amostras e B_4 , B_3 , e A_3 são fatores que dependem do tamanho da amostra; para tamanhos de amostras de 2 a 10 estes valores estão no apêndice B.

Passo 3. Interpretação do controle do processo (idem a \bar{X} e R)

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo (idem a \bar{X} e R; as exceções estão relacionadas abaixo)

Estimativa do desvio-padrão do processo: $\hat{\sigma} = \bar{s}/c_4$

onde \bar{s} é a média dos desvios-padrão das amostras (para períodos com o desvio-padrão sob controle) e c_4 é um fator que depende / do tamanho da amostra.

- Quando o processo apresenta uma distribuição normal, esta estimativa de pode ser utilizada na determinação da capacidade do mesmo, desde que médias e desvios-padrão permaneçam sob controle estatístico.

6.4.3. Cartas das Medianas

As cartas das medianas são alternativas para as cartas \bar{X} e R para o controle de processo, utilizando dados medidos; fornecem indicações que permitem conclusões semelhantes apresentando porém algumas vantagens:

- As cartas das medianas são fáceis de usar e não necessitam de cálculos diários. Isso aumenta sua aceitação na oficina.
- Uma vez que os valores individuais (bem como medianas) são / projetados, a carta das medianas apresenta a dispersão do resultado do processo e fornece ainda uma imagem contínua da variação da mesma.
- Uma vez que uma só carta apresenta tanto as medianas como também a dispersão, pode ser usada para comparar o resultado de vários processos ou, do mesmo processo em fases sucessivas.

As instruções para cartas das medianas são similares aquelas das cartas \bar{X} e R.

Passo 1. Coleta de dados (idem a \bar{X} e R; as execções estão abaixo)

- As cartas das medianas são usadas para tamanhos de amostras de subgrupo de 10 ou menores; os tamanhos de amostras ímpares são os mais adequados.

- Apenas uma carta é projetada; escolhe-se uma escala que contenha a maior das duas condições (a) tolerância de especificação do produto mais uma margem adicional destinada às leituras fora da especificação, ou (b) de 1 1/2 a 2 vezes a diferença entre a máxima e a mínima medição individual. O calibrador usado deve dividir a tolerância do produto em - no mínimo - 20 incrementos, e a escala da carta deve ser construída conforme a do calibrador.
- Projete as medições individuais para cada subgrupo numa linha / vertical. Insira a mediana de cada subgrupo (o valor do meio; quando o tamanho da amostra é um número par, a mediana localiza-se a meio caminho entre os pontos internos). Para tornar mais clara a análise das tendências, trace uma linha conectando as medianas dos subgrupos.
- Lance as medianas (\bar{X}) e as amplitudes (R) de cada subgrupo na tabela de dados.

Passo 2. Cálculo dos limites de controle (idem a \bar{X} e R; as exceções estão abaixo).

- Determine a média das medianas de cada subgrupo e trace este dado como a linha de centro na carta; registre-a como $\bar{\bar{X}}$.
- Determine a média das amplitudes; registre-as como \bar{R} .
- Calcule os limites superior e inferior de controle para amplitudes e medianas (LSC_R , LIC_R , $LSC_{\bar{X}}$, $LIC_{\bar{X}}$):

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + \bar{A}_2 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - \bar{A}_2 \bar{R}$$

onde D_4 , D_3 e \bar{A}_2 são fatores que dependem do tamnho de amostra, e estão representados no apêndice C.

- Faça o traçado dos limites de controle para as medianas na respectiva carta

Passo 3. Interpretação do controle de processo (idem a \bar{X} e R; exceções estão relacionadas abaixo).

- Compare o LSC_R e LIC_R com cada amplitude calculada. Alternativamente, assinale na borda de um cartão índice os pontos correspondentes aos limites de controle para amplitudes e compare estas marcas com a distância entre os valores máximo e mínimo de cada subgrupo. Trace um retângulo estreito para nele inserir todo o subgrupo que apresente amplitude excessiva.
- Assinale todas as medianas de subgrupos que estejam além dos limites de controle e observe a dispersão das medianas dentro desses limites (2/3 dos pontos dentro do terço médio dos limites) ou a existência de tendências ou configurações.
- Execute ações de processo adequadas para resolver as causas especiais que afetam as amplitudes ou medianas.

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo (idem a \bar{X} e R; exceções estão relacionadas abaixo).

- Faça o cálculo do desvio-padrão do processo: $\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2}$
onde \bar{R} é a média das amplitudes das amostras (para períodos em que a amplitude está sob controle) e d_2 é um fator que depende do tamanho da amostra conforme apêndice C.
- Se o processo apresenta uma distribuição normal, esta estimativa de $\hat{\sigma}$ pode ser usada para avaliar a capacidade do processo.
Nota: Para o controle contínuo do processo onde os limites de controle baseiam-se em dados anteriores, a exceção da carta pode ser simplificada da seguinte forma:
- Usa-se uma carta única, com a escala construída com incrementos iguais aqueles que já se acham em uso (no mínimo 20 incrementos entre os limites da especificação do produto) e com a linha de centro e os limites de controle das medianas já deviamente marcados.
- Deve-se providenciar um cartão (preferivelmente de plástico), marcado com os limites de controle das amplitudes.
- O operador marca na carta cada uma das leituras individuais; os valores numéricos não precisam ser registrados.
- Para cada subgrupo compara o cartão de amplitudes com as marcações máxima e mínima dos subgrupos. Qualquer subgrupo que apresente amplitude além dos limites é inscrito em um retângulo estreito.

- O operador determina a mediana de cada subgrupo e a inscreve num círculo; todas as medianas que excedam os limites de controle são assinaladas.
- Para as amplitudes ou medianas que ultrapassam os limites de controle, o operador executará ações adequadas para ajustar ou corrigir o processo ou notificar as equipes de apoio ou supervisão.

6.4.4. Cartas de individuais

Em certos casos, é necessário que o controle do processo seja baseado em leituras individuais. Isso ocorre quando as medições / são dispendiosas (como por exemplo, um teste destrutivo), ou quando o resultado num dado ponto e momento, apresenta-se relativamente homogêneo (por exemplo, o pH de uma solução química). Nesses casos, as cartas de controle de individuais podem ser feitas da maneira abaixo. Quatro pontos, entretanto, merecem atenção:

- As cartas de individuais não são sensíveis às alterações do processo quanto as cartas \bar{X} e R.
- Dever-se interpretá-las com especial atenção quando a distribuição do processo não se apresenta simétrica.
- As cartas de individuais não separam a variação do processo peça-a-peça. Em muitas aplicações é mais conveniente utilizar a carta convencional \bar{X} e R com tamanhos de amostra de subgrupo (de 2 a 4) mesmo que isso exija um período mais longo entre subgrupos.
- Devido serem os subgrupos constituídos de um único valor individual, os valores de \bar{X} e R podem ter grande variação (mesmo se o processo estiver estável) até uma quantidade de 100 ou mais subgrupos.

Os detalhes das instruções sobre cartas de individuais são semelhantes aquelas das cartas de \bar{X} e R.

Passo 1. Coleta de dados (idem a \bar{X} e R; as exceções estão relacionadas abaixo).

- As leituras individuais (X) são registradas da esquerda para a direita na carta de dados.

- Cálculo de Amplitude Móvel (R) entre Valores Individuais.

Usualmente, a diferença entre cada par sucessivo de leituras (R), é registrado (por exemplo, a diferença entre a primeira e a segunda leitura, entre a segunda e a terceira, etc). Há sempre uma amplitude a menos que o número de leituras individuais (25 leituras fornecem 24 amplitudes). Em alguns casos a amplitude baseia-se num ponto móvel maior (por exemplo, de três a quatro), ou num subgrupo fixado (como por exemplo todas as leituras feitas num só turno).

Note que apesar de as medições serem amostradas de forma individual, é o número de leituras agrupados para constituir a amplitude móvel (por exemplo, 2, 3 ou 4) que determina o tamanho nominal da amostra n.

- As escalas adotadas para a carta de controle de individuais (X) devem conter a maior das duas situações (a) a tolerância da especificação do produto mais uma margem adicional para / as leituras fora de especificação, ou (b) de 1 1/2 a 2 vezes a diferença entre as leituras individuais máxima e mínima. A divisão da escala adotada para as amplitudes (R), deve ser / igual aquela adotada na carta X.

Passo 2, Cálculo dos limites de controle (idem a \bar{X} e R; as exceções estão relacionadas abaixo).

- Calcule e faça a traçagem da média do processo ($\bar{\bar{X}}$), e calcule a amplitude média (\bar{R}); note que há um valor a menos de amplitude (R) que o número de leituras individuais (X).

- Cálculo dos limites de controle:

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$LSC_X = \bar{\bar{X}} + E_2 \bar{R}$$

$$LIC_X = \bar{\bar{X}} - E_2 \bar{R}$$

onde \bar{R} é a amplitude móvel média, $\bar{\bar{X}}$ é a média do processo e D_4 , D_3 e E_2 são fatores que dependem do tamanho da amostra usada no agrupamento das amplitudes móveis, como demonstra a tabela / no apêndice D.

Passo 3. Interpretação do controle de processo (idem a \bar{X} e R; as exceções estão relacionadas abaixo).

- Examine novamente a carta de amplitude para verificar a existência de pontos que excedam os limites de controle, os quais indicam a ocorrência de causas especiais. Observe que as amplitudes sucessivas correlacionam-se, já que apresenta um ponto / em comum. Devido a este pormenor deve-se tomar cuidado na interpretação das tendências.
- A carta de individuais pode ser analisada para a verificação da ocorrência de pontos que excedam os limites de controle, e tendências ou configurações. Observe aqui, entretanto, que quando a distribuição do processo não é simétrica, as regras apresentadas anteriormente, destinadas às cartas \bar{X} , podem indicar sinais de causas especiais que não existem.

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo (idem \bar{X} e R; as exceções estão relacionadas abaixo).

- De forma análoga às cartas \bar{X} e R, o desvio padrão do processo pode ser determinado através de:

$$\hat{\sigma} = \bar{R}/d_2$$

- onde \bar{R} é a média das amplitudes móveis e d_2 é um fator que depende do tamanho da amostra como pode ser observado pela tabela do apêndice D.
- Quando o processo apresenta uma distribuição normal, esta estimativa de $\hat{\sigma}$ pode ser usada na avaliação da capacidade do processo desde que o processo esteja sob controle estatístico.

6.5 Cartas de Controle para Atributos

Embora as cartas de controle sejam mais frequentemente consideradas em termos de variáveis, também foram criadas versões para atributos.

Os atributos apresentam apenas dois valores (conforme/não-conforme, passa/não-passa, presença/ausência), mas podem ser contados para registro e análise. Os exemplos são: a presença de uma característica específica os erros contidos num documento datilografado ou a continuidade de um circuito elétrico.

Outros exemplos são: características mensuráveis mas com resultados registrados através de simples sim/não, tal qual o diâmetro de um eixo quando medido com calibrador passa/não-passa, a aceitabilidade da folga de porta via verificação visual ou via calibrador. As cartas de controle para atributos são importantes por várias razões, a saber:

1. As situações que envolvem atributos ocorrem em todos os processos, técnicos ou administrativos, portanto esta técnica de análise de atributos tem muitas aplicações. A maior dificuldade operacional consiste em se definir precisamente o que é não-conformidade.
2. Os dados referentes a atributos já se acham disponíveis, em qualquer lugar onde haja inspeção, contagem de reparos, escolha de material rejeitado, etc. Nestes casos, não é necessário nenhum dispêndio com uma coleta / adicional de dados, apenas o trabalho de converter estes dados em carta / de controle.
3. Nas situações em que há necessidade de coleta de novos dados, as informações relativas a atributos são de obtenção rápida e barata; utilizando-se um simples método de avaliação (como por exemplo, um sistema do tipo passa/não passa), torna-se dispensável pessoal especializado na coleta / de dados.
4. Muitos dados preparados para os relatórios do tipo gerencial, em forma de atributos, podem ser aprimorados pela análise em carta de controle. Podemos citar, porcentagem de refugo, auditorias de qualidade e rejeições de material. Devido a possibilidade de se estabelecer uma distinção entre a variação de causas especiais e comuns, a análise da carta de controle pode representar uma valiosa ajuda na interpretação de relatórios gerenciais.
5. Quando se implanta o uso de cartas de controle numa fábrica, é importante considerar as áreas problemáticas prioritárias e usar as cartas onde estas mais se fazem necessárias.

Os sinais dos problemas podem aparecer no controle de custo, queixas de usuários, problemas internos, etc. O uso de cartas de controle para atributos nas principais características de qualidade, geralmente, indica as áreas do processo que carecem de exame detalhado - incluindo o possível / uso de cartas para variáveis.

As quatro subseções seguintes abordam os fundamentos dos quatro tipos principais de carta de controle para atributos.

- A. A carta p para a Porcentagem de Unidades Não-Conforme (para amostras não necessariamente de tamanho constante).
- B. A carta np para o Número de Unidades Não-Conforme (em amostras de tamanho constante).
- C. A carta u para o Número de Não-Conformidades (em amostras de tamanho constante).
- D. A carta u para o Número de Não-Conformidades por unidade (em amostras não necessariamente de tamanho constante).

A primeira abordagem a respeito da cartap, é mais extensa que as demais, já que introduz os conceitos principais. As outras três subseções apresentam as características peculiares aqueles tipos de cartas.

6.5.1 Carta p para Porcentagem de Unidades Não-Conforme

A carta p tem por finalidade medir a porcentagem de unidades não conforme (discrepantes ou defeituosas) de um grupo em inspeção. Esta avaliação pode referir-se a uma amostra de 75 peças, feita duas vezes por dia, ou a 100% da produção agrupada em base horária, diária, etc. Pode basear-se na avaliação de uma característica (verificação da instalação ou não de uma determinada peça) ou várias características (a detecção de algo errado no sistema elétrico). É importante que:

- Cada componente ou veículo sob inspeção seja registrado quanto à sua conformidade ou quanto à sua não-conformidade (mesmo que um veículo apresente várias não-conformidades é registrado apenas uma vez como um item não-conforme).
- Os resultados destas inspeções são agrupados de forma significativa e os itens não-conforme são expressos como uma fração do tamanho do grupo amostrado.

As cartas p exigem, antes do seu uso, algumas fases preparatórias:

- Estabelecer ambiente próprio para ação. Todo método estatístico falhará em seu intento a menos que a gerência prepare um ambiente receptivo e hábil.
- Definir o processo. O processo deve ser compreendido quanto as suas relações com outras operações/com os usuários, bem como, em termos dos seus elementos (pessoal, máquinas e equipa-

mentos, materiais, métodos e ambiente) que o afeta em todos os seus estágios.

- Determinar as características a controlar. Concentrar-se nas / características mais promissoras quanto ao aperfeiçoamento do processo (aplicação do gráfico de Pareto). Para esta determinação considerar:
 - As necessidades dos clientes. Isto compreende tanto as fases seguintes do processo que usam determinado produto ou serviço quanto o cliente do produto final.
 - Áreas com problemas existentes ou potenciais. Considerar as evidências de desperdício ou baixo desempenho (refugo, retrabalho, excesso de horas-extras, objetivos não alcançados) e de riscos (futuras modificações do projeto do produto ou serviço bem como dos elementos do processo).
 - Correlação entre as características. Num bom estudo tira-se vantagens das relações existentes entre as características. Se várias características de uma peça variam correlacionadamente umas às outras, pode ser suficiente analisar uma única dentre elas.
- Definir o sistema de medição. Uma característica deve ser operacionalmente definida, para que os resultados possam ser comunicados a todos com o mesmo significado hoje tal qual significava ontem. Isto implica em especificar qual informação deve ser coletada, aonde, como e sob que condições. Estabelecer a definição operacional é difícil - mas muito importante quando estão envolvidos julgamentos pessoais. A definição da característica afeta o tipo de carta de controle a ser usada - carta para atributo, como a do tipo p, ou carta para variáveis descritas anteriormente.
- Minimizar as variações inúteis. As causas de variação desnecessária devem ser eliminadas antes do início de qualquer estudo. O propósito é evitar os problemas que podem e devem ser corrigidos sem o uso de cartas de controle. Sempre um diário de bordo do processo deve ser mantido com notas de todos os eventos significativos tais como, mudanças no procedimento, novos lotes de matéria-prima, etc. Este diário de bordo ajudará a análise dos problemas que se seguem.

Passo 1. Coleta de dados

1.a. Escolha do tamanho, frequência e quantidade de subgrupos.

- Tamanho do subgrupo - As cartas para atributos requerem subgrupos de tamanho grande (50 a 200 ou mais) para captar pequenas variações de performance. Para que a carta mostre configurações analisáveis, o tamanho do subgrupo deverá / ser suficientemente grande de molde a conter vários itens não-conforme em cada um deles (np 5). Contudo um grande tamanho de subgrupo é uma desvantagem pois cada um dos subgrupos representará um longo período de operação do processo. São mais convenientes subgrupos de tamanho constante ou que não variem mais do que +/- 25%.
- Frequência do subgrupo - A frequência dos subgrupos deve ser compatível com os períodos de produção para facilitar a análise e correção dos problemas. Pequenos períodos de tempo permitem resposta mais rápida, mas confitam com a exigência de subgrupos com tamanho grande.
- Quantidade de subgrupos - O período de coleta de dados deve ser suficientemente longo para captar todas as fontes de variação que comumente afetam o processo. Vinte e cinco ou mais subgrupos permitem um bom teste de estabilidade, e se estável, permite uma estimativa confiável do desempenho do processo.

1.b. Cálculo da porcentagem de unidades não-conforme de cada subgrupo (p).

Os seguintes dados devem ser registrados para cada subgrupo:

O número de itens inspecionados - n

O número de itens não-conforme encontrados - np

Com base nesses dados, o cálculo da porcentagem de unidades não-conforme é feito através da equação:

$$p = \frac{np}{n}$$

Estes dados devem ser registrados em um formulário para a análise inicial. Quando se dispõe de dados históricos recentes, pode-se usá-los para abreviar esta fase do estudo.

1.c. Escolha de escalas para carta de controle

A carta em que serão projetados os dados, deve ser feita utilizando a fração (ou porcentagem) não-conforme como escala vertical, enquanto os subgrupos (horas, dias, etc) compõem a escala horizontal. A escala vertical deve estender-se do zero até aproximadamente $1\frac{1}{2}$ a 2 vezes a maior fração não-conforme verificada nas leituras iniciais de dados.

1.d. Projeção da porcentagem não-conforme na carta de controle

Faça a projeção dos valores de p de cada subgrupo. É um procedimento normal unir os pontos com linhas a fim de auxiliar a visualização de configurações e tendências.

Assim que os pontos são projetados, examine-os para verificar se estão razoáveis. Se alguns pontos apresentarem valores mais altos ou mais baixos do que a maioria, verifique se os cálculos estão corretos.

Passo 2. Cálculo dos limites de controle.

2.a. Cálculo da porcentagem média de unidades não-conforme do Processo (\bar{p})

Para um período de estudo de k subgrupos, o cálculo da porcentagem média de unidades não-conforme é feito da seguinte forma:

$$\bar{p} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

onde np_1 , np_2 , ..., e n_1 , n_2 , ... são os números de unidades não-conforme e o número de unidades inspecionadas em cada um dos k subgrupos.

2.b. Cálculo dos limites superior e inferior de controle (LSC, LIC)

Os limites de controle são a média do processo mais e menos uma tolerância para a variação que se pode esperar, em função do tamanho da amostra. Para um período de estudo de k subgrupos, o cálculo dos limites superior e inferior de controle é feito pelas expressões:

$$LSC_p = \bar{p} + (3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}) / \sqrt{n}$$

$$LIC_p = \bar{p} - (3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}) / \sqrt{n}$$

onde \bar{n} é o tamanho médio da amostra.

Observação : Quando \bar{p} for um avlor baixo e/ou valor de \bar{n} pequeno, o LIC pode, ao ser calculado, resultar em um número negativo. Mestes casos, não há limite inferior de controle já que o valor de $p=0$ para um determinado período, está dentro dos limites de variação aleatória.

2.c. Traçado e identificação das linhas.

- média do processo (\bar{p}) - linha cheia horizontal.
- Limites de controle (LSC,LIC) - linhas tracejadas horizontais.

Durante a fase inicial de estudo, estes limites são considerados experimentais.

Observação : Os cálculos dos limites de controle mostrados na folha anterior são adequadas a subgrupos de tamanho constante (situação de amostragem controlada). Teoricamente, quando o tamanho da amostra muda (mesmo que para um só subgrupo), os limites de controle também mudam, e específicos limites de controle deveriam ser calculados para cada específico tamanho de amostra. Entretanto, de forma prática, os limites de controle calculados com o tamanho médio da amostra (\bar{n}) são aceitáveis desde que o tamanho de cada subgrupo varie dentro de $+/- 25\%$ deste tamanho médio da amostra (variação típica dos volumes reais de produção sob condições relativamente estáveis). Quando os tamanhos dos subgrupos variam mais do que o acima exposto, são necessários limites de controle diferentes para os períodos nos quais o tamanho da amostra foi muito grande ou muito pequeno. Um procedimento razoável (e que deve ser documentado em "observações" no formulário) consiste de:

- Determinar a amplitude dos tamanhos de amostra que variem dentro de +/- 25% da média; identificar todos os subgrupos com tamanho de amostra além ou aquém desta amplitude.
- Recalcular limites corretos para todos estes pontos da seguinte maneira:

$$LSC_p \text{ ou } LIC_p = \bar{p} \pm (3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})} / \sqrt{n})$$

onde n é o tamanho da amostra daquele particular subgrupo. Pode se verificar que só o valor de n muda de ponto a ponto.

- Traçar os novos limites superior e inferior na carta de controle para todos os subgrupos afetados e usá-los para a identificação de causas especiais.

Observe que a manipulação de limites de controle variáveis é incômodo e gera confusão entre as pessoas que tentam interpretar as cartas. É melhor, sempre que possível, estruturar um plano de coleta de dados utilizando o mesmo tamanho de amostra, continuamente.

Passo 3. Interpretação da carta para o controle do processo

Objetivo: identificar todas as razões pelas quais o processo não mais apresenta o mesmo nível de operação - isto é, não está mais sob controle - para tomar as medidas adequadas ao caso.

3.a. Análise da projeção de dados para evidenciar o não-controle

1. Pontos além dos limites de controle - A presença de um ou pontos além dos limites de controle é uma evidência de instabilidade naquele ponto. Uma vez que raros pontos excederiam os limites de controle se o processo fosse estável e somente causas comuns de variação estivessem presentes, presumem-se que uma causa especial possa ser o fator responsável pelo valor extremo apresentado. Essa causa especial tanto pode ser favorável como desfavorável. Ambos os casos exigem investigação imediata. Esta é a primeira regra para a decisão de ação em qualquer carta. Todos os pontos além dos limites de controle devem ser assinalados.

Um ponto acima do limite superior de controle (alta porcentagem de unidades não-conforme) geralmente indica que:

- O limite de controle e/ou o ponto projetado apresentam erros, ou

- O desempenho do processo piorou, naquele determinado instante, ou em consequência de uma tendência, ou
- O sistema de medição mudou (por ex., inspetor, calibre)

Um ponto abaixo do limite inferior de controle (baixa / porcentagem de unidades não-conforme) indica geralmente que:

- O limite de controle e/ou o ponto projetado estão errados, ou
- O desempenho do processo melhorou (isto deve ser estudo do para permitir incorporar estas melhorias de forma / permanente), ou
- O sistema de medição mudou.

Configurações ou Tendências dentro dos limites de controle
A presença de configurações ou tendências não-usuais, mesmo quando todos os pontos se enquadram nos limites de controle, pode ser evidência de não-controle ou alteração da performance durante o período da configuração ou tendência. Isso representa um aviso antecipado de condições que, se deixadas sem correção, podem acarretar médias além dos limites de controle.

NOTA : A análise de tendência similar aquela usada para as cartas \bar{X} somente pode ser usada aqui quando a média do número de unidades não-conforme (\bar{np}) for razoavelmente alta (9 ou maior), pois assim a distribuição dos p aproxima-se a uma normal. Quando \bar{np} permanecer pequeno (5 ou menor), as regras a seguir / apresentadas não são aplicáveis.

2. Distância entre os pontos e a média do processo - Num processo sob controle estatístico, onde ocorrem apenas variações oriundas de causas comuns, aproximadamente 2/3 dos pontos estarão dentro do terço médio da região demarcada pelos limites de controle. Cerca de 1/3 dos pontos se localizarão nos dois terços externos a esta região. Aproximadamente 1/20 se localizarão per to dos limites de controle. Isto é válido somente se \bar{np} for razoavelmente grande.

Quando uma quantidade substancialmente maior que 2/3 dos pontos apresentam-se junto à média do processo, isso pode significar:

- Os limites de controle e/ou pontos projetados foram mal calculados ou mal traçados, ou
- O processo e/ou o método de amostragem estão estratificados; cada subgrupo inclui sistematicamente, medições de dois ou / mais fluxos do processo que apresentam desempenhos muito diferentes (por exemplo, peças misturadas provenientes de duas linhas de produção paralelas), ou
- Os dados foram corrigidos (valores bastante desviados da média que foram alterados ou removidos).

Quando uma quantidade substancialmente menor que 2/3 dos pontos apresentam-se junto à média do processo, isso pode representar:

- Erros de cálculo e/ou projeção, ou
- O processo e/ou o método de amostragem geram sucessivos subgrupos que apresentam resultados de dois ou mais fluxos do processo que tem médias bem diferentes (por exemplo, diferente desempenho entre turnos).

Quando vários fluxos do processo são concomitantes, devem ser identificados e acompanhados separadamente.

3. Tendências - Num processo sob controle, um número aproximadamente igual de pontos deve cair em qualquer um dos lados da média. Qualquer dos sinais seguintes pode representar uma indicação do começo de uma tendência ou deslocamento do processo, se o valor de n_p for razoavelmente alto:

- 7 pontos consecutivos todos acima ou todos abaixo da média, ou
- 7 pontos consecutivos aumentando uniformemente (valor igual ou maior que os precedentes de forma idêntica).

Nesses casos, o ponto que determina a decisão deve ser assinalado (por exemplo, o sétimo ponto acima da média); pode ser útil traçar uma linha de referência até o começo da tendência. A análise deve considerar o instante em que se presume ter sido iniciada a tendência ou o deslocamento.

Os deslocamentos que se apresentam acima da média do processo e as tendências ascendentes, geralmente significam que:

- O desempenho do processo piorou; e talvez ainda esteja piorando, ou

- O sistema de medição mudou.

Os deslocamentos abaixo da média do processo e as tendências descendentes, geralmente significam que:

- O desempenho do processo melhorou (as causas devem ser examinadas no sentido de serem incorporadas de forma permanente), ou
- O sistema de medição mudou.

NOTA: Quando n_p for pequeno (abaixo de 5), a probabilidade de deslocamentos para baixo de \bar{p} aumenta e portanto serão necessários 8 ou mais pontos consecutivos para caracterizar uma queda da porcentagem de unidades não-conformes.

3.b. Determinação, correção de causas especiais

Quando uma condição de não-controle é identificada, a operação do processo deve ser estudada para se determinar a causa. Esta causa deve ser eliminada e, se possível, deve-se evitar que volte a ocorrer novamente. Uma vez que a causa especial foi indicada pela carta de controle, é necessária a análise da operação e espera-se que a correção desta causa local de variação esteja ao alcance do operador ou da supervisão. Técnicas de resolução de problemas tais como Gráficos de Pareto podem ser úteis.

Para os estudos contínuos, a análise das condições de não-controle envolve a investigação oportuna da operação do processo com ênfase particular na procura das mudanças que explicam o desempenho anormal. Quando esta análise é transformada em ação corretiva, a eficiência dessa medida deve ser visível na carta de controle.

Para estudos preliminares com dados históricos, o passar do tempo torna mais difícil a análise das alterações havidas na operação, especialmente em casos de problemas intermitentes. A análise deve ser realizada - sempre que possível - concomitantemente ao evento, a fim de identificar a condição e, assim, evitar sua reincidência.

3.c. Cálculo de novos limites de controle

Quando se realiza o primeiro estudo de um processo ou a rea-

valiação de sua capacidade; pode ser necessário recalcular os limites experimentais de controle para eliminar os efeitos de períodos nos quais o estado de controle tenha sido afetado / por causas especiais já corrigidas. Os limites de controle devem ser recalculados excluindo-se os pontos de não-controle e traçados na carta (conf. Passo 2). Isto evita que períodos / anormais de produção sejam incluídos na estimativa da variabilidade típica. Os dados históricos devem ser novamente verificados através da comparação com os limites novos para comprovar se nenhum outro ponto sugere a presença de causas assinaláveis. Se os dados históricos apresentam desempenho uniforme dentro dos limites experimentais de controle, estes limites podem ser projetados à frente para períodos futuros. Tornam-se necessários, limites de controle operacionais, através dos quais, serão avaliados os dados futuros à medida que forem / coletados e registrados.

Os limites para o controle contínuo podem ser alterados em relação aqueles estabelecidos durante o período de análise através de mudança no tamanho da amostra. Nesse caso, usam-se as fórmulas mostradas nas subseções 2.a. e 2.b., porém com o tamanho de amostra desejado, n_{novo} , ao invés de \bar{n} .

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo

Quando as questões de estabilidade estão resolvidas (causas especiais identificadas, analisadas e corrigidas/impossibilitadas de ocorrerem novamente), a carta de controle reflete a capacidade do processo.

4.a. Cálculo da capacidade do processo

- Para uma carta p, a capacidade do processo (à similaridade da desenvolvida para as cartas variáveis) é representada pela porcentagem média de unidades não-conforme \bar{p} , calculada sob o regime de controle estatístico. A capacidade pode também ser expressa pela porcentagem de unidades conforme ($1 - \bar{p}$).
- Para uma estimativa preliminar da capacidade do processo, use dados históricos, mas exclua os pontos associados às causas especiais.

- Para um estudo formal da capacidade do processo, deve-se observar novos dados durante 25 ou mais períodos, com todos os pontos sob controle estatístico. O \bar{p} de tais períodos sob controle, é a melhor estimativa da atual capacidade do processo.

4.b. Avaliação da capacidade do processo

- A capacidade do processo representa o nível contínuo de desempenho do mesmo enquanto permanecer sob controle e não experimentar nenhuma mudança significativa.

De período-a-período, o percentual de unidades não-conforme aferido irá variar entre os limites de controle mas, excetuando alterações eventuais no processo ou períodos sob condição não-controlada, a média tenderá a ser estável.

- Esta capacidade média, e não os valores individuais flutuantes, deve ser contraposta às expectativas da gerência sobre uma determinada características. Se este nível médio é inaceitável, análise e ação corretiva devem ser executadas no processo propriamente dito. (responsabilidade da gerência).

4.c. Aperfeiçoamento da capacidade do processo

- Uma vez que o processo está sob controle estatístico, o nível médio de unidades não-conforme irá refletir as causas sistemáticas de variação do processo - a capacidade não são adequadas para o diagnóstico de causas comuns. A menos que uma ação da gerência seja dirigida ao sistema, não se pode esperar melhoria / na capacidade do processo. As soluções a longo prazo tornam-se necessárias para corrigir as origens das unidades não-conforme.
- As técnicas de resolução de problemas tais como o Gráfico de Pareto podem ser úteis. Entretanto, o entendimento dos problemas pode ser difícil quando só se usa atributos. Em geral, a solução do problema é ajudada pela análise das causas de variação / existentes no processo em suas fases anteriores ao ponto onde se capta o sinal destas variações e pelo uso de cartas de controle para variáveis (por exemplo \bar{X} e R).

4.d. Uso da carta e análise do processo revisto

- Quando as ações sistemáticas no processo são levadas a cabo, seus efeitos são visíveis na carta de controle; a carta torna-se um meio de verificar a eficiência destas ações.
- Quando ocorrem as implementações de mudanças no processo, a carta de controle deve ser analisada atentamente. Este período de mudança pode alterar as operações causando - potencialmente - novos problemas que encobrem o efeito real das mudanças no sistema.
- Após a identificação e a correção de causas especiais de variação surgidas durante o período de mudanças, o processo ficará sob controle estatístico com nova média do processo. Se esta / nova média refletir um estado de controle, será aceitável para o cálculo dos limites de controle permanentes. Contudo, as investigações e aperfeiçoamentos do sistema devem continuar.

6.5.2 Carta np para o Número de Unidades Não-Conforme

A carta np mede o número de unidades não-conforme (itens que apresentam discrepâncias ou defeitos) num lote de inspeção. É idêntica à carta p exceto por registrar o número total de itens não conforme ao invés de sua fração na amostra. As cartas p e np são adequadas às mesmas situações com a escolha recaendo sobre a carta / np quando: (a) o número total de unidades não-conforme é mais significativo ou mais simples de relatar que a fração e (b) o tamanho da amostra permanece constante ao longo do tempo. As instruções / para a carta np são similares aquelas destinadas às cartas p:

Passo 1. Coleta de dados (idem a carta p; as exceções estão anotadas abaixo)

- O tamanho das amostras de inspeção deve ser constante. A sua frequência deve ser compatível com os períodos de produção e com os sistemas de retroinformação; as amostras devem ser suficientemente grandes para permitirem a captação de várias unidades não conforme em cada subgrupo. Registre o tamanho da amostra no formulário.
- Registre e projete o número de unidades não-conforme de cada / sub grupo (np).

Passo 2. Cálculo dos limites de controle (idem carta p; as exceções estão ressaltadas abaixo)

- Cálculo do número médio de unidades não-conforme num processo (\bar{np}):

$$\bar{np} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k}$$

onde np_1, np_2, \dots são o número de unidades não-conforme em cada um dos k subgrupos.

- Cálculo dos limites superior e inferior de controle (LSC, LIC)

$$LSC_{np} = \bar{np} + 3 \sqrt{\bar{np} \left(1 - \frac{\bar{np}}{n} \right)}$$

$$LIC_{np} = \bar{np} - 3 \sqrt{\bar{np} \left(1 - \frac{\bar{np}}{n} \right)}$$

onde n = tamanho da amostra.

Passo 3. Interpretação do controle do processo (idem carta p)

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo (idem a carta p as exceções são apresentadas a seguir)

A capacidade do processo é \bar{np} , o número médio de unidades não-conforme numa amostra de tamanho n . Isto expressa-se também como o número médio de unidades conforme,

$$n(1 - \bar{p}) = n - \bar{np}$$

6.5.3. Carta c para o número de não-conformidades

A carta c mede o número de não-conformidades (discrepâncias ou defeitos) verificadas num lote inspecionado (em oposição ao número de unidades não-conforme). A carta c exige tamanho de amostra constante e é aplicada nas seguintes situações:

1. Quando as não-conformidades estão dispersas através de fluxo mais ou menos contínuo de produto (por exemplo, as imperfeições verificadas num rolo de vinil, bolhas em vidros, ou pontos de isolação fina em fios) e quando a taxa média de não-conformidades pode ser calculada (por exemplo, número de falhas por 100 metros quadrados de vinil).
2. Nos casos em que as não-conformidades provenientes de várias fontes diferentes podem ser encontradas numa unidade única de inspeção (por exemplo, defeitos anotados em um setor de reparos onde, cada

veículo ou componente individual pode apresentar ampla variedade de não-conformidades).

A seguir são apresentadas as etapas de elaboração e aplicação de uma carta c, que são similares às descritas para a carta p.

Passo 1. Coleta de dados (idem a carta p; as exceções são apresentadas abaixo)

- O tamanho das amostras de inspeção (números de unidades, área de material, comprimento de fio, etc) precisa ser constante para que os valores de c indiquem as alterações do nível de qualidade (probabilidade de ocorrência de uma não-conformidade: c). Registre o tamanho da amostra no formulário.
- Registre e projete o número de não-conformidades de cada subgrupo (c).

Passo 2. Cálculo dos limites de controle (idem a carta p; as exceções são apresentadas abaixo)

- Cálculo do número médio de não-conformidades do processo (\bar{c}):

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{k}$$

onde $c_1, c_2 \dots$ são número de não-conformidades em cada um dos k subgrupos.

- Cálculo dos limites de controle (LSC, LIC)

$$LSC_c = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$
$$LIC_c = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

Passo 3. Interpretação do controle do processo (idem a carta p).

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo (idem a carta p; as exceções são apresentadas abaixo).

- A capacidade do processo é \bar{c} , o número médio de não-conformidades / numa amostra de tamanho n.

6.5.4 Carta u para o Número de Não-Conformidades por Unidade

A carta u mede o número de não-conformidades por unidade inspecionada (discrepâncias ou defeitos por unidade) tomasdas em subgrupos que podem ser de tamanho variável. A carta u é similar à carta c exceto o fato de o número de não-conformidades ser expresso por unidade.

As cartas u e c são adequadas às mesmas situações; contudo, a carta u

deve ser usada quando a amostra contém mais do que uma unidade (tornando o relatório mais significativo) bem como quando a amostra tem seu tamanho variável no decorrer do tempo. As instruções para a carta u são similares aquelas destinadas às cartas p.

Passo 1. Coleta de dados (idem a carta p; as exceções são apresentadas abaixo)

- Não é necessário que as amostras sejam de tamanho constante ao longo dos subgrupos, salienta-se entretanto que, se mantido dentro de 25% acima ou abaixo da média, o cálculo dos limites de controle fica mais simples.
- Registre e projete o número de não-conformidades por unidade de cada subgrupo (u):

$$u = \frac{c}{n}$$

onde c é o número de não-conformidades encontradas e n é o tamanho da amostra (total de unidades inspecionadas); c e n também devem ser registrados no formulário.

Observação : O tamanho da amostra n, é expresso em termos de unidades inspecionadas. Às vezes a amostra inspecionada é única, por ex. um motor. Frequentemente, a amostra inspecionada é múltipla. Por exemplo, há caso de inspeções de não-conformidades em 100 unidades a amostra conterá 100 unidades de produção e n indica quantas centenas já foram inspecionadas.

Passo 2. Cálculo dos limites de controle (idem a carta p; as exceções são apresentadas abaixo).

- Cálculo do número médio de não-conformidades por unidade (\bar{u}):

$$\bar{u} = \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_k}{n_1 + n_2 + \dots + n_k}$$

onde c_1, c_2, \dots e n_1, n_2, \dots são o número de não-conformidades e o tamanho de amostra de cada um dos subgrupos.

- Cálculo dos limites de controle (LSC, LIC)

$$LSC_u = \bar{u} + (3 \sqrt{\bar{u}} / \sqrt{n})$$

$$LIC_u = \bar{u} - (3 \sqrt{\bar{u}} / \sqrt{n})$$

onde \bar{n} é o tamanho médio da amostra.

Observação : Se determinado subgrupo apresentar tamanho de amostra tal que exceda ao intervalo definido pelo tamanho médio da amostra mais ou menos 25%, recalcule os limites de controle da forma seguinte :

$$LSC_u, LIC_u = \bar{u} \pm (3 \sqrt{\bar{u}} / \sqrt{n})$$

onde \bar{u} é a média do processo e n o tamanho da amostra (número de unidades inspecionadas) daquele particular subgrupo. Redesenhe estes limites na carta de controle e use-os na captação de causas especiais.

Observe que o uso de limites de controle variáveis é incômodo, potencialmente causador de mal-entendidos sendo um procedimento / mais aconselhável - sempre que possível - evitar esta situação / usando tamanho de amostra constante.

Passo 3. Interpretação do controle do processo (idem a carta p)

Passo 4. Interpretação da capacidade do processo (idem a carta p; as exceções estão relacionadas a seguir)

- A capacidade do processo é \bar{u} , o número de não conformidades por unidade inspecionada.

Apêndice A: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta \bar{X} e R

Observações na Amostra	Carta das Médias (\bar{X})		Carta das Amplitudes (R)	
	Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-Padrão	Fatores para Limites de Controle	
	n	A ₂	d ₂	D ₃
2	1.880	1.128	---	3.267
3	1.023	1.693	---	2.574
4	0.729	2.059	---	2.282
5	0.577	2.326	---	2.114
6	0.483	2.534	---	2.004
7	0.419	2.704	0.076	1.924
8	0.373	2.847	0.136	1.864
9	0.337	2.970	0.184	1.816
10	0.308	3.078	0.223	1.777
11	0.285	3.173	0.256	1.744
12	0.266	3.258	0.283	1.717
13	0.249	3.336	0.307	1.693
14	0.235	3.407	0.328	1.672
15	0.223	3.472	0.347	1.653

$$LSC_{\bar{X}}, LIC_{\bar{X}} = \bar{X} \pm A_2 \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$= \bar{R}/d_2$$

Apêndice B: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta \bar{X} e s

Observações na Amostra	Cartas das Médias (\bar{X})		Carta dos Desvios-padrão (s)		
	Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-padrão	Fatores para Limites de Controle		
	<u>A₃</u>	<u>c₄</u>	<u>B₃</u>	<u>B₄</u>	
2	2.659	0.7979	---	3.267	
3	1.954	0.8862	---	2.568	
4	1.628	0.9213	---	2.266	
5	1.427	0.9400	---	2.089	
6	1.287	0.9515	0.030	1.970	
7	1.182	0.9594	0.118	1.882	
8	1.099	0.9650	0.185	1.815	
9	1.032	0.9693	0.239	1.761	
10	0.975	0.9727	0.284	1.716	
11	0.927	0.9754	0.321	1.679	
12	0.886	0.9776	0.354	1.646	
13	0.850	0.9794	0.382	1.618	
14	0.817	0.9810	0.406	1.594	
15	- 0.789	0.9823	0.428	1.572	

$$LSC_{\bar{X}}, LIC_{\bar{X}} = \bar{X} \pm A_3 s$$

$$LSC_R = B_4 \bar{s}$$

$$LIC_R = B_3 \bar{s}$$

$$= \bar{s} / c_4$$

Apêndice C: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta das Medianas

Carta das Medianas
(X)

Carta de Amplitudes
(R)

Observações na Amostra	Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-padrão	Fatores para Limites de Controle		
	n	\bar{A}	d_2	D_3	
2		1.880	1.128	---	3.267
3		1.187	1.693	---	2.574
4		0.796	2.059	---	2.282
5		0.691	2.326	---	2.114
6		0.548	2.534	---	2.004
7		0.508	2.704	0.076	1.924
8		0.433	2.847	0.136	1.864
9		0.412	2.970	0.184	1.816
10		0.362	3.078	0.223	1.777

$$LSC_{\bar{X}}, LIC_{\bar{X}} = \bar{X} \pm \bar{A}_2 \bar{R}$$

$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$= \bar{R} / d_2$$

Apêndice D: Tabela de Fatores e Fórmulas para Carta de Individuais

Observações na Amostra	Carta de Individuais (X)		Carta de Amplitudes (R)	
	Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-padrão	Fatores para Limites de Controle	
	E_2	d_2	D_3	D_4
2	2.660	1.128	---	3.267
3	1.772	1.693	---	2.574
4	1.457	2.059	---	2.282
5	1.290	2.326	---	2.114
6	1.184	2.534	---	2.004
7	1.109	2.704	0.076	1.924
8	1.054	2.847	0.136	1.864
9	1.010	2.970	0.184	1.816
10	0.975	3.078	0.223	1.777

$$LSC_X, LIC_X = \bar{X} \pm E_2 \bar{R}$$

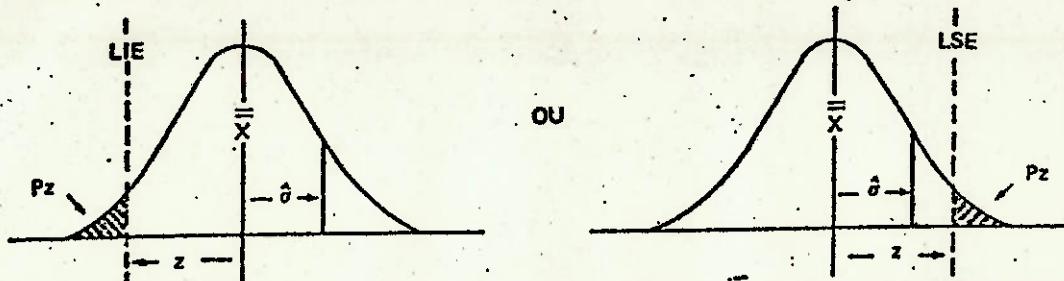
$$LSC_R = D_4 \bar{R}$$

$$LIC_R = D_3 \bar{R}$$

$$= \bar{R} / d_2$$

Índice E: Tabela do Fator Z para Distribuição Normal

= porcentagem do resultado do processo além de um limite único da especificação que é a z unidades de desvio padrão da média do processo (para um processo sob controle estatístico e normalmente distribuído). Por exemplo: $z = 2.17$, $p = .0150$ ou 1.5%.



xx0	xx1	xx2	xx3	xx4	xx5	xx6	xx7	xx8	xx9
.00003									
.00005	.00005	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00004	.00003	.00003
.00007	.00007	.00007	.00006	.00006	.00006	.00006	.00005	.00005	.00005
.00011	.00010	.00010	.00010	.00009	.00009	.00008	.00008	.00008	.00008
.00016	.00015	.00015	.00014	.00014	.00013	.00013	.00012	.00012	.00011
.00023	.00022	.00022	.00021	.00020	.00019	.00019	.00018	.00017	.00017
.00034	.00032	.00031	.00030	.00029	.00028	.00027	.00026	.00025	.00024
.00048	.00047	.00045	.00043	.00042	.00040	.00039	.00038	.00036	.00035
.00069	.00066	.00064	.00062	.00060	.00058	.00056	.00054	.00052	.00050
.00097	.00094	.00090	.00087	.00084	.00082	.00079	.00076	.00074	.00071
.00135	.00131	.00126	.00122	.00118	.00114	.00111	.00107	.00104	.00100
.0019	.0018	.0018	.0017	.0016	.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
.0026	.0025	.0024	.0023	.0023	.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
.0035	.0034	.0033	.0032	.0031	.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
.0047	.0045	.0044	.0043	.0041	.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
.0062	.0060	.0059	.0057	.0055	.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
.0082	.0080	.0078	.0075	.0073	.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
.0107	.0104	.0102	.0099	.0096	.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
.0139	.0136	.0132	.0129	.0125	.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
.0179	.0174	.0170	.0166	.0162	.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
.0228	.0222	.0217	.0212	.0207	.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
.0287	.0281	.0274	.0268	.0262	.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
.0359	.0351	.0344	.0336	.0329	.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
.0446	.0436	.0427	.0418	.0409	.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
.0548	.0537	.0526	.0516	.0505	.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
.0668	.0655	.0643	.0630	.0618	.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
.0808	.0793	.0778	.0764	.0749	.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
.0968	.0951	.0934	.0918	.0901	.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
.1151	.1131	.1112	.1093	.1075	.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
.1357	.1335	.1314	.1292	.1271	.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
.1587	.1562	.1539	.1515	.1492	.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
.1841	.1814	.1788	.1762	.1736	.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
.2119	.2090	.2061	.2033	.2005	.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
.2420	.2389	.2358	.2327	.2297	.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
.2743	.2709	.2676	.2643	.2611	.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
.3085	.3050	.3015	.2981	.2946	.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
.3446	.3409	.3372	.3336	.3300	.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
.3821	.3783	.3745	.3707	.3669	.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
.4207	.4168	.4129	.4090	.4052	.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
.4602	.4562	.4522	.4483	.4443	.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
.5000	.4960	.4920	.4880	.4840	.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

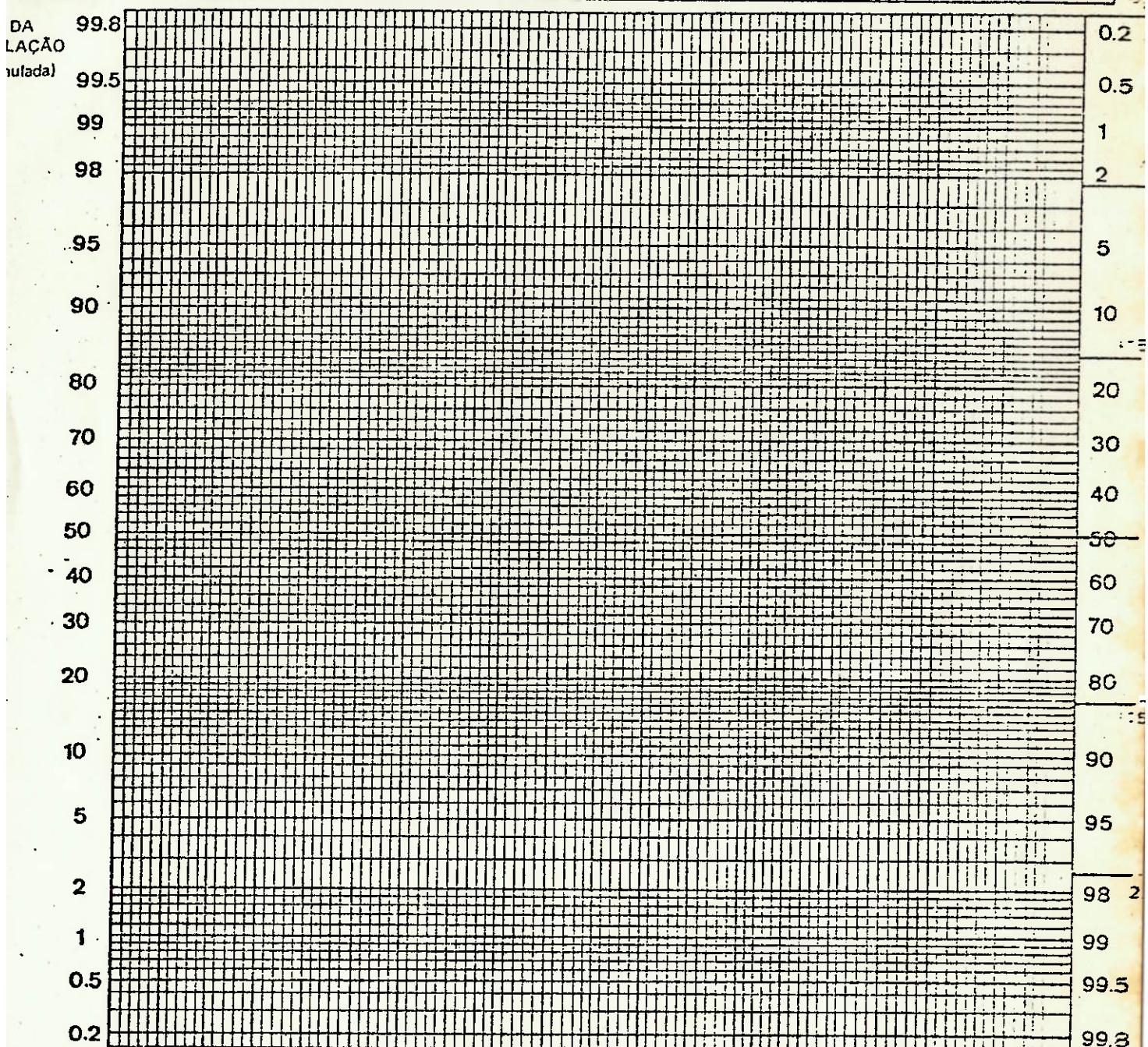
Apêndice F: Modelos de Cartas de Controle para Controle Estatístico
do Processo

CARTA DE CONTROLE PARA ATRIBUTOS

Apêndice G: Papel Normal para Estudos de Machine Capability

PAPEL NORMAL

PEÇA Nº & NOME	CARACTERÍSTICA
OPERAÇÃO Nº & DESCR.	ESPECIFICAÇÃO
FÁBRICA OU FORNECEDOR	DATA
NOTAS:	TAMANHO DA AMOSTRA(N): 99,994% (± 4m)



BIBLIOGRAFIA

- Juran, Joseph M., Quality Control Handbook, McGraw Hill Book Company, New York, USA, 1974
- Palmer, Colin F., Controle Total de Qualidade, Edgard Blucher, São Paulo, SP, 1979
- Apostila " Capacidade do Processo e Controle Contínuo do Processo ", Ford Motor Company, 1983
- Burr, I. W., Engineering Statistics and Quality Control, McGraw Hill Book Company, New York, USA