ESTATÍSTICA APLICADA À PRODUÇÃO

PROF. WALTER NIKKEL

2007

Sumário

1. CONCEITOS IMPORTANTES

O objetivo principal do *Controle de Qualidade* deve ser a prevenção de produtos defeituosos.

Objetivo principal: produzir produtos com defeito zero.

Produto defeituoso: é uma unidade de um produto que contém um ou mais defeitos.

Defeito: uma falha individual que não atende a uma especificação de Engenharia (também chamado de não conformidade).

Produto: o resultado de um processo.

Processo: combinação de máquinas, ferramentas, materiais, pessoas, métodos e ambiente de trabalho que produz um produto ou serviço.

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

PROCESSO
Ex.: fabricação de latas e alumínio
Entrada: (barra bruta de alumínio)
Processo: (conformação da barra de alumínio por punção)
Produto: lata de alumínio.

Numa organização podem ser identificados diversos tipos de processos, tais como: processos de aquisição de material, processos administrativos, processos de seleção e qualificação de pessoal, processo de produção, processo de vendas, processo de medição e ensaio, entre outros.

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

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

Gerenciar um processo consiste em :

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

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

“O objetivo é melhoria, não jogo com estatística”.

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

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

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

PREVENÇÃO X DETECÇÃO

A abordagem tradicional em manufatura tem sido o conceito de detecção.

O Controle de Qualidade tinha a responsabilidade de rejeitar os itens não conformes com as especificações da Engenharia.

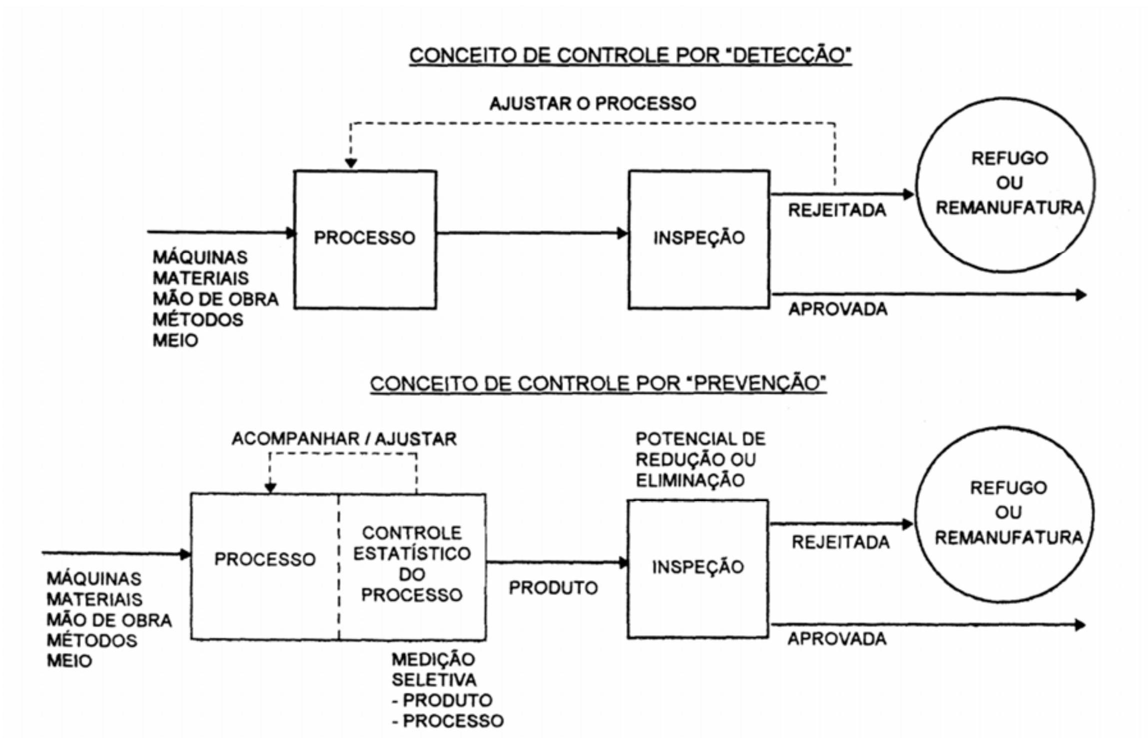
Era uma estratégia de detecção de problemas após a produção do produto, envolvendo altos custos de inspeção, retrabalho, perda de material, etc. Esta situação pode ser comparada a uma fábrica escondida que absorve recursos sem produzir nada que possa ser vendido.

Recursos dispendidos que não agregam valor ao produto são **desperdícios ou perdas.**

A estratégia da prevenção de problemas é mais eficaz para evitar a produção de peças não conforme.

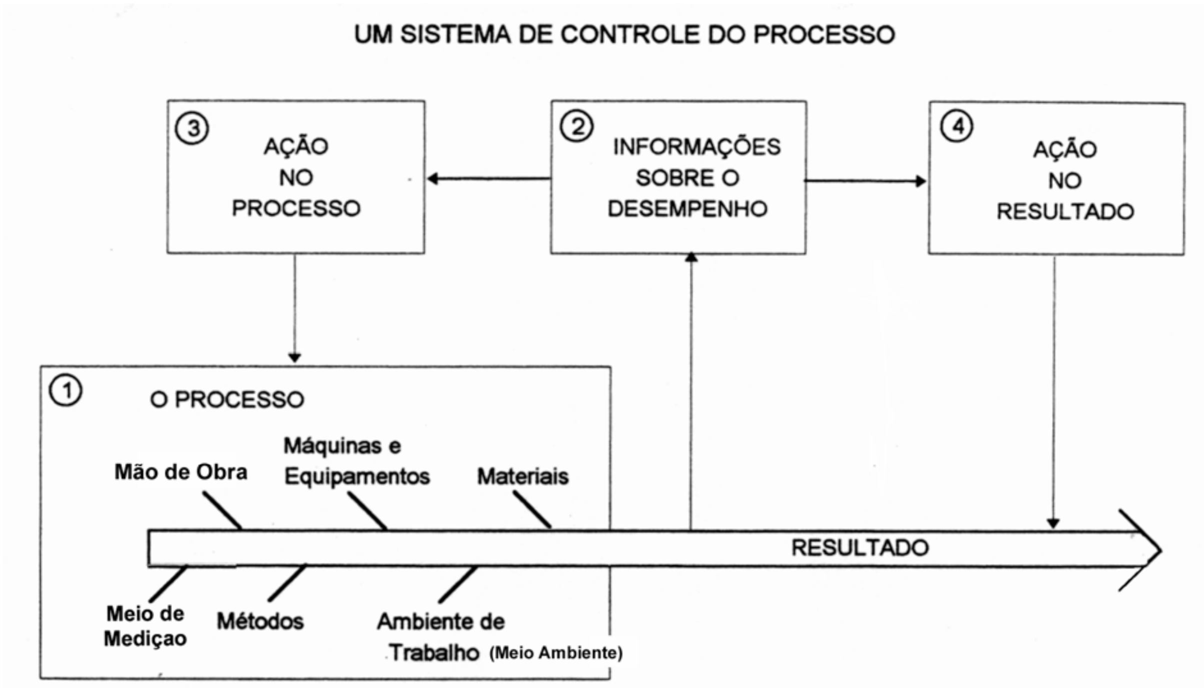
Esta prevenção é possível através de determinações das alterações indesejáveis no processo, antes da produção de produtos inaceitáveis. São **realizadas medições seletivas e periódicas**, durante a produção, **tanto dos parâmetros do processo como das características do produto**.

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



O controle do processo pode ser descrito como um sistema de retro–informação (feed–back).

Processo é a combinação total de pessoal, máquinas e equipamentos, materiais, método de trabalho, meio de medição e ambiente de trabalho, cuja atuação conjunta produz o resultado (agrega valor). O controle do processo só faz sentido quando concorre para a melhoria do desempenho desse processo.



As **informações sobre o desempenho** real do processo podem ser obtidas analisando-se o resultado do mesmo ao longo do tempo de produção. Estas informações podem ser obtidas através de parâmetros do processo tais como temperatura, pressão, concentração, etc., ou através de medições de características do produto que está sendo produzido. Quando estas informações são obtidas e interpretadas corretamente, indicam se há ou não necessidade de uma ação para corrigir o processo.

A **ação no processo** é uma ação de prevenção porque é realizada uma correção no processo antes da produção de peças não conformes (fora das especificações).

A **ação no resultado** se torna desnecessária com o controle estatístico do processo bem realizado.

2. TIPOS DE CAUSAS DE VARIAÇÃO

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

Nunca duas peças ou dois produtos são exatamente iguais. Dimensões de peças apresentam variações dentro de certos intervalos. Conjuntos como motores, automóveis, etc., apresentam pequenas variações de performance.As diferenças entre os produtos podem ser enormes ou quase imperceptíveis, mas sempre presentes.

As causas de variação podem ser de dois tipos:

CAUSAS COMUNS

Fazem parte da natureza do processo e seguem padrões normais de comportamento. São causas de variação inerentes ao processo.

As causas comuns referem-se a muitas fontes pequenas de variação dentro de um processo que se encontra sob controle estatístico (processo estável). São causas aleatórias que agem de forma constante.

A eliminação das causas comuns é impossível para um dado processo, sendo por isso consideradas como parte natural do processo de fabricação. Entretanto, é possível, mas onerosa, a redução do efeito das causas comuns. A redução das causas comuns de variação, normalmente, exige a substituição do processo existente por um processo diferente, sendo necessário investimento de capital. Por isto, a responsabilidade pelas causas comuns de variação está com a alta gerência.

Exemplos de causas comuns:

- Vibração normal de uma máquina em boas condições.
- Variação normal das características da matéria prima.
- Folgas normais entre os componentes da máquina.
- Pequenas variações de temperatura e umidade.
- Pequenas flutuações na energia elétrica.
- Desgaste normal da ferramenta de corte.

CAUSAS ESPECIAIS OU ATRIBUÍVEIS

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 o processo estivesse sob controle estatístico.São de certa forma imprevisíveis. Quando detectadas, devem ser eliminadas rapidamente, para que não prejudiquem o desempenho do processo.

Exemplos de causas especiais:

- Quebra da ferramenta de corte.
- Falha de um rolamento da máquina.
- Material fora de especificação.
- Operador inexperiente.
- Queda da energia elétrica.

As causas especiais (causas não aleatórias) referem-se a fatores que causam grandes variações. Geralmente são fatores acidentais.

A primeira etapa do controle estatístico de processos (CEP) é colocar o processo sob controle estatístico. Isto significa tornar o processo estável através da eliminação das causas especiais de variação. Portanto, em um processo sob controle estatístico a variação é causada apenas pelas causas comuns.

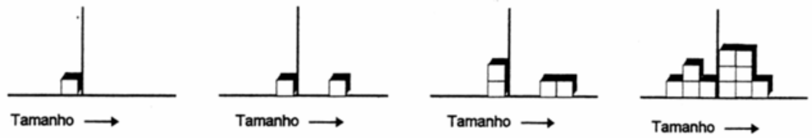
As variações são o maior inimigo da qualidade. O ideal é que todas as peças fossem iguais. Elas durariam mais, funcionariam melhor e o consumidor ficaria mais satisfeito. Como isso é impossível, necessita-se trabalhar continuamente, para tornar as variações cada vez menores.

A variação das características qualitativas do produto pode ser descrita por uma distribuição de freqüência. Esta distribuição pode ser caracterizada através de:

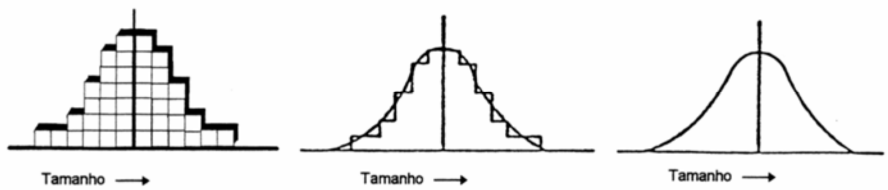
- Localização (valor típico).
- Dispersão (diferença entre valores mínimos e máximos).
- Forma (o padrão da variação – se é simétrico, em forma de pico, etc.).

VARIAÇÃO: CAUSAS COMUNS E ESPECIAIS

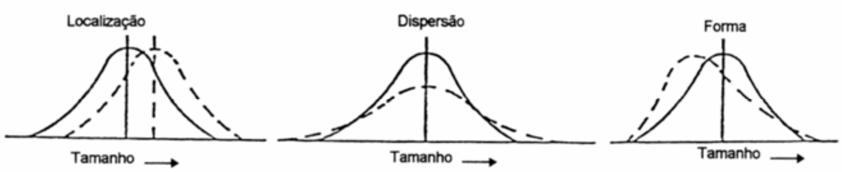
As peças variam entre si:



Mas, formam um padrão que, se estável, denomina-se distribuição:

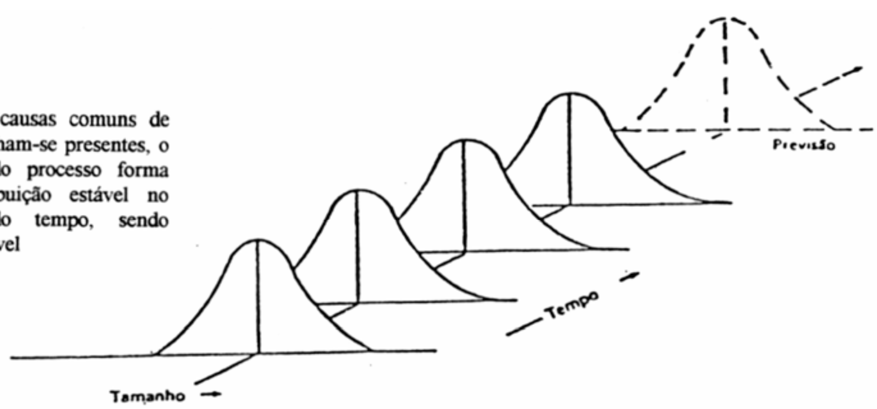


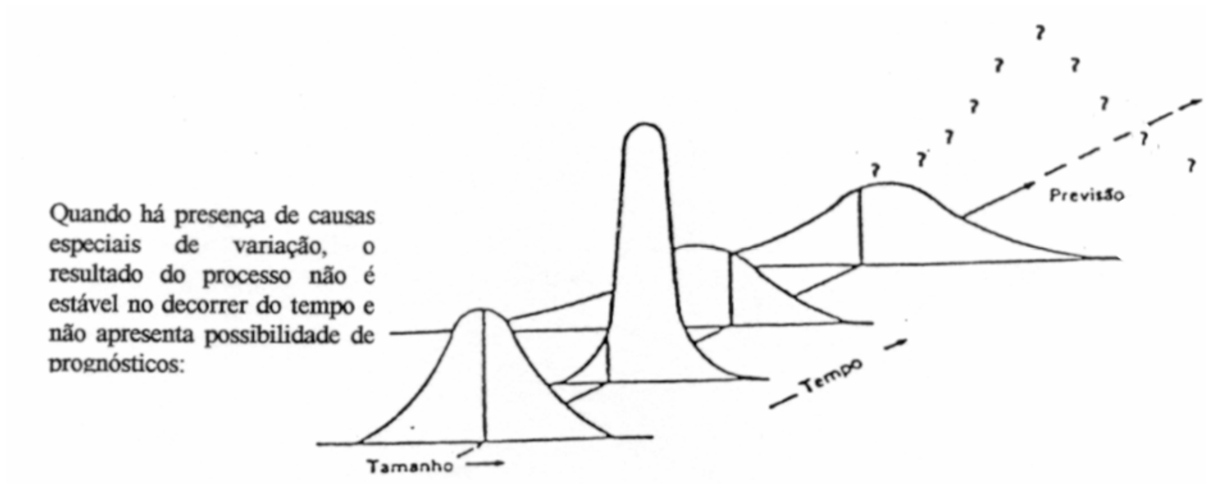
As distribuições podem diferir quanto à:



. . . Ou qualquer combinação destes itens.

Se apenas causas comuns de variação acham-se presentes, o resultado do processo forma uma distribuição estável no decorrer do tempo, sendo prognosticável





AÇÕES NO LOCAL E AÇÕES NO SISTEMA

Há uma importante correlação entre os dois tipos de variação que já vimos 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 de variação pode ser indicada com técnicas estatísticas elementares, mas geralmente a sua eliminação requer análise mais detalhada. A correção das causas comuns de variação é responsabilidade da gerência, embora outras pessoas diretamente envolvidas com a operação possam estar em melhor posição para identificá-las e passá-las à chefia para a devida correção. Em geral, a redução de uma causa comum de variação requer uma ação no sistema.

AÇÕES NO LOCAL

São comumente necessárias para eliminar causas especiais de variação.

Podem ser executadas pelo pessoal envolvido com o processo.

AÇÕES NO SISTEMA

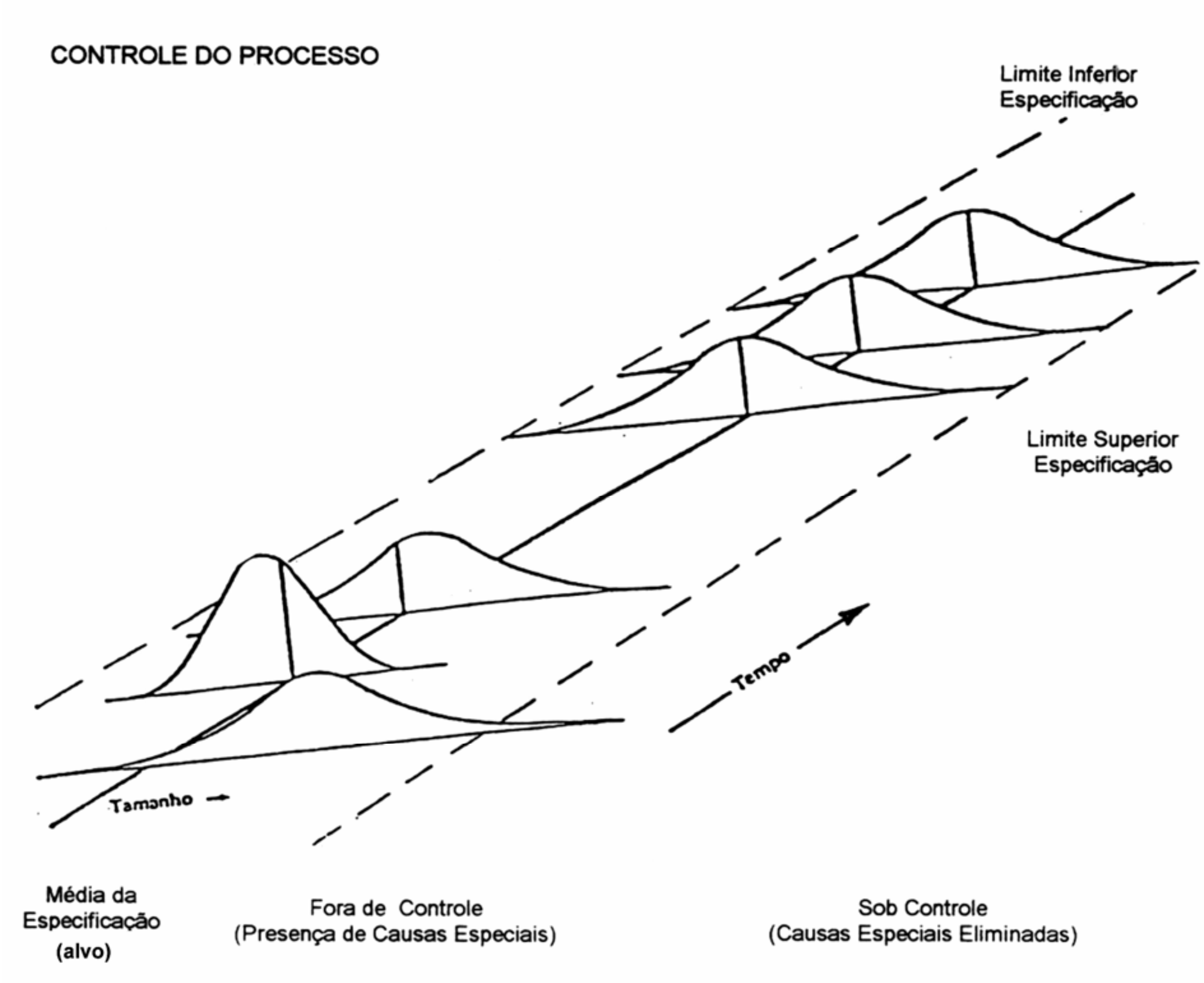
São comumente necessárias para reduzir a variação devida às causas comuns.

Para execução quase sempre exigem ação gerencial.

PROCESSO SOB CONTROLE ESTATÍSTICO

O objetivo do controle do processo é gerar decisões economicamente viáveis para as ações necessárias ao processo. Isso 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 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.” A função fundamental do controle de processo é, por conseguinte, fornecer um sinal estatístico quando há ocorrência de causas especiais de variação e, evitar falsos sinais estatísticos quando estas causas não estão presentes. Isto permitirá ações adequadas que eliminarão aquelas causas especiais e evitarão seu reaparecimento.



PROCESSO CENTRADO NO ALVO

Mesmo que um processo não tenha variações especiais, ou seja, estiver sob controle estatístico, e as variações devido às causas comuns forem pequenas, ainda assim este processo pode gerar produto fora de especificação, se o processo não estiver centrado no alvo, que geralmente é o centro da especificação.

3. DEFINIÇÕES ESTATÍSTICAS

a) Elemento (x)

É a unidade considerada para o estudo estatístico. Ex.:objeto, indivíduo, peça, conjunto.

b) População

É o conjunto de todos os elementos existentes ou que serão obtidos em um processo qualquer. Ex.: todas as peças produzidas em torno durante um determinado período.

c) Lote

É uma parte da população delimitada por um tempo, ou por um pedido, etc.

d) Amostra

É o conjunto de todos os elementos (ou itens) extraídos de uma população para estudo (processo qualquer), aleatoriamente. Ex.: o conjunto de parafusos retirados de uma caixa .

e) Tamanho da Amostra

É o número de elementos (ou itens) existentes na amostra, geralmente indicada pela letra "n". Ex.: número de parafusos retirados de uma caixa n=20.

f) Amostragem(N)

É o número de amostras consideradas para o estudo. Ex.:10 grupos de 20 elementos cada:

(amostragem)	**N=10 amostras**
(amostra)	**n=20 elementos**
(total de elementos)	
$N.n=10x20 \Rightarrow N.n=200$	

4. CÁLCULOS ESTATÍSTICOS

Quando coletamos dados devemos apresentá-los de uma forma clara e precisa. Veremos a seguir, os parâmetros que mais são utilizados na apresentação.

Medidas de Tendência Central

a) Média

Por exemplo vamos calcular a média da amostra de 9 elementos de bateria, cujos pesos em gramas estão relacionados abaixo:

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
35	34	37	33	35	34	35	36	37

$$\overline{X}=\frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n}, \overline{X}=\frac{35+34+...+37}{9}=35{,}1$$

b) Mediana

É o valor central;

No exemplo, temos a seqüência crescente de 9 elementos:

33 34 34 35 <u>35</u> 35 36 37 37 = 35 (elemento central)

Neste caso, n=9 (ímpar), então, basta tomar o valor central. Se a seqüência for par, toma-se a média dos dois elementos centrais, ou seja, supondo n=8:

33 33 34 <u>34 35</u> 35 36 37

$\widetilde{X}$ = (34+35)/2=34,5

c) Moda

Moda de um conjunto de dados (Valores) = Valor do conjunto que aparece mais vezes, isto é, o valor no qual esteja associado a freqüência absoluta mais alta.

Exemplo:

	X	F	
	2	**1**	
	6	**1**	
Moda -	**8**	**4**	**- Freqüência maior**
	10	**2**	
	12	**2**	
	18	**1**	

Aliás, na prática, ocorre o mesmo: se a maioria das pessoas começa a ouvir os clássicos, dizemos que a "música clássica está na moda". Se a maioria começa a usar chapéu, "os chapéus entraram na moda".

Medidas de Dispersão

a) Amplitude

É a diferença entre maior valor (X máx) e o menor valor (X mín) da amostra .

R=X máx. – X mín.

R=37-33, portanto R=4

b) Desvio Padrão

b.1) $$S=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n-1}}$$ *(no caso de amostras)*

b.2) $$\sigma=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n}}$$ *(no caso de população)*

b.3) Desvio Padrão estimado para a população do Processo

Na prática (em distribuições normais) podemos utilizar o método aproximado que apresenta maior facilidade para o cálculo.

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R} \text{ amplitude média}}{d_n}$$

c) Variância

A variância é o desvio padrão elevado ao quadrado: σ^2

A variância é utilizada para avaliar o efeito resultante de várias causas de variação. A variância resultante é a soma das variâncias parciais:

$$\sigma_T^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \ldots \sigma_n^2$$

Observação: $\bar{R}$ é a amplitude média de sub-grupos, convenientemente escolhidos de elementos da amostra. O valor tabelado de d_n, a ser usado, será o correspondente ao número de elementos do sub-grupo.

Tabela 1- Valores de d_n ou d_2

N	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
dn	**1.128**	**1.693**	**2.059**	**2.326**	**2.534**	**2.704**	**2.847**	**2.970**	**3.078**	**3.173**	**3.258**

Onde n é o tamanho da amostra.

Técnica de Amostragem

Freqüentemente precisamos, na prática, tirar conclusões válidas sobre um grande grupo de indivíduos ou objetos. Ao invés de examinar todo o grupo (chamado população) – o que pode ser difícil, caro ou mesmo impossível – pode-se cogitar de estudar apenas uma pequena parte (amostra) desta população.

O objetivo é inferir certos fatos acerca da população, a partir de resultados observados a amostra; tal processo denomina-se **inferência estatística**. O processo de obtenção ou extração e amostras é chamado **amostragem**.

EXEMPLO 1

Podemos querer tirar conclusões sobre as cores de 200 peças (população de uma caixa) escolhendo uma amostra de 20 peças.

EXEMPLO 2

Podemos querer tirar conclusões sobre a porcentagem de peças defeituosas fabricadas em uma indústria durante uma semana de seis dias, examinando apenas 20 peças cada dia e, durante diferentes períodos do dia. Nesse caso, o conjunto de todas as peças fabricadas (1000), durante a semana, constitui a população, enquanto que as 120 peças selecionadas para estudo constituem a amostra ou amostras.

5. INTERPRETAÇÃO DE DADOS

a) Distribuição de Freqüências

Quando um conjunto de observações de certo fenômeno não estiver adequadamente organizado, o pesquisador não terá condições de obter todas as informações necessárias.

O que se faz para obter informações de interesse sobre o fenômeno em estudo, é agrupar as observações em tabelas ou gráficos convenientemente construídos. Ao se agrupar os dados de mesmo valor absoluto, obtém-se uma distribuição de freqüência. O tipo de tabela ou gráfico utilizado é função do tipo de variável que representa o fenômeno de interesse.

Com as observações do fenômeno pode-se construir uma tabela onde os valores da variável em estudo (Xi), estão dispostos em correspondência com suas freqüências (**f**) respectivas.

Coleta de dados:

O que se objetiva com a coleta de dados é a análise e a obtenção de informações para ação através do uso de métodos estatísticos.

Os dados devem ser obtidos na forma para simplificar a análise subsequente. A primeira regra básica é planejar e elaborar os planos para coleta de dados. Para isso, é necessário registrar, além das observações e suas características, também a data, o nome do observador, o plano de amostragem, os instrumentos de medição utilizados, o método, etc.

Os dados coletados deverão ser apresentados mediante a utilização de um histograma de freqüênciais, que é uma representação gráfica onde cada classe é representada por um retângulo, cuja base é igual à amplitude de classe correspondente e a área é proporcional a freqüência da classe.

Toda vez que se tiver amostras coletadas, é possível distribuí-las de várias maneiras, considerando, por exemplo, a cor, a dimensão, o peso e o brilho.

O histograma de freqüênciais tem por finalidades identificar o tipo de distribuição amostral, identificar anormalidades nos processos, comparar os resultados com especificações ou padrões e identificar e separar os fatores contribuintes, obtendo dessa forma, conclusões necessárias para ações e decisões no processo.

Construção de histograma de freqüênciais

Para se construir um histograma de freqüências, é preciso distribuir os dados coletados em classes e determinar o número de elementos por classe. Isso se faz calculando a amplitude de cada amostra, o número de classes e a amplitude de tolerância.

Amplitude de classe (h)

A amplitude de cada classe é dada por **h=R/k**

R = representa a amplitude total das observações, definida como a diferença entre o valor maior e menor observado.

$R = X_{máx} – X_{min.}$

Número de classes (k)

k = representa o número de classes, pode ser determinado através da fórmula empírica de Sturges: **k** = 1+3,32 logn, onde n representa o número de observações.

Considere 100 valores de cargas em kgf aplicadas em um mancal:

9,5	12,5	14,5	13,0	12,5	12,0	13,0	8,5	10,5	10,5
9,0	12,5	12,5	14,0	13,5	12,0	14,0	12,0	10,0	14,5
10,0	10,5	8,0	15,0	9,0	13,0	11,0	10,0	14,0	11,0
12,0	10,5	13,5	11,5	12,0	15,5	14,0	7,5	11,5	11,0
12,0	12,5	15,5	13,5	12,5	17,0	9,5	11,0	11,5	16,5
11,5	9,0	9,5	11,5	11,5	14,0	11,5	13,0	13,0	15,0
13,0	8,0	10,0	9,0	13,0	15,0	10,0	13,5	11,5	8,5
10,0	7,0	7,5	15,5	13,0	15,5	11,5	10,5	9,5	9,5
9,0	7,0	10,0	12,5	9,5	11,0	10,0	10,0	12,0	8,5
11,5	11,5	8,0	10,5	14,5	8,5	10,0	12,5	12,5	11,0
13,0	9,0	11,0	9,0	10,5	7,0	10,0	12,0	12.0	10,5

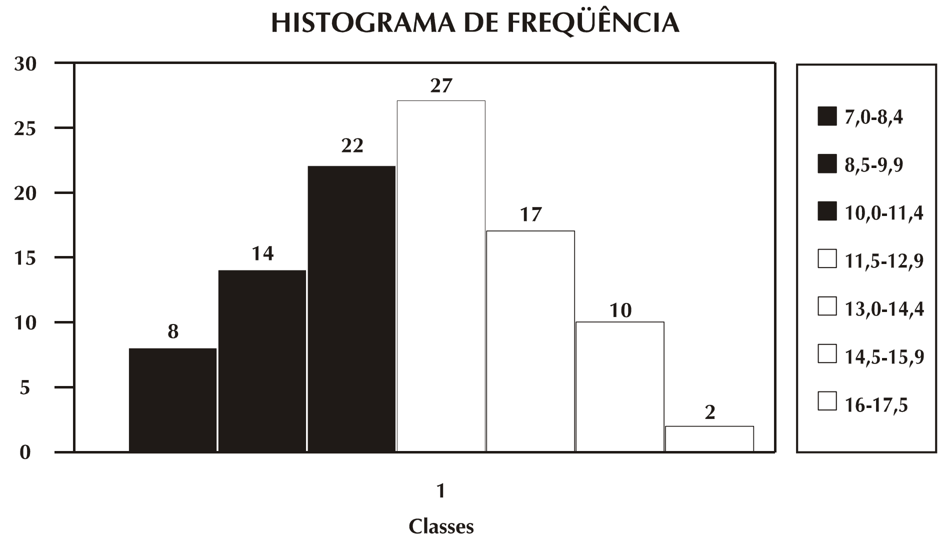
k=1+3,32 log 100=7,64 **utilizamos 7 classes**

$$\mathbf{h = \frac{17 - 7}{7} = 1{,}42}$$

utilizamos uma amplitude de classe de 1,5

	Classes (k)		Freq. (f)

1º	7,0	8,4	8
2º	8,5	9,9	14
3º	10,0	11,4	22
4º	11,5	12,9	27
5º	13,0	14,4	17
6º	14,5	15,9	10
7º	16,0	17,5	2
			100



Como é que você sabe que uma distribuição é normal? Você pode ver isso no histograma e observando se a forma da curva se assemelha a de um sino ou não. Se o formato for o de um sino, você pode fica seguro que o processo tem a distribuição normal, ou seja, apresenta variações apenas do tipo aleatório, (não há variações especiais). Mas se o polígono de freqüencias não se apresentar em forma de sino, então, diversos tipos de problemas podem estar ocorrendo:

a. mesmo não existindo variações especiais agindo sobre o processo, a distribuição que não é do tipo normal (de Gauss) e, portanto, o aspecto do polígono de freqüência não é de forma de sino.
b. o processo está afetado por variações do tipo especial. Exemplo disso é mais de um sistema trabalhando, duas ou mais máquinas, dois ou mais operadores produzindo matérias primas diferentes, desregulagens, etc.

Quando a distribuição é normal, o histograma vai mostrar uma curva com aspecto de sino, o que permite concluir que os problemas do tipo “a” e “b” não estão presentes.

b) Distribuição Normal

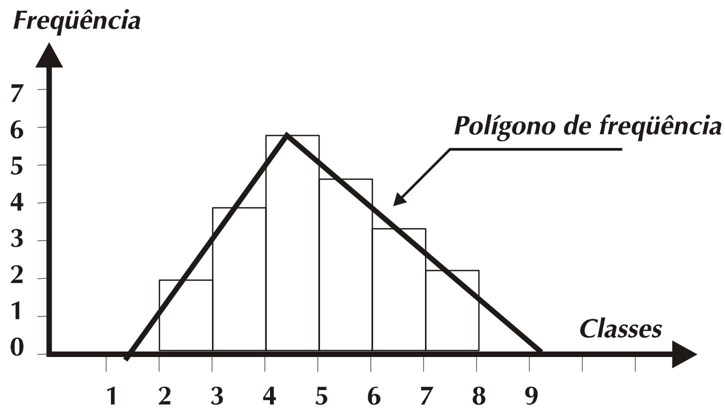
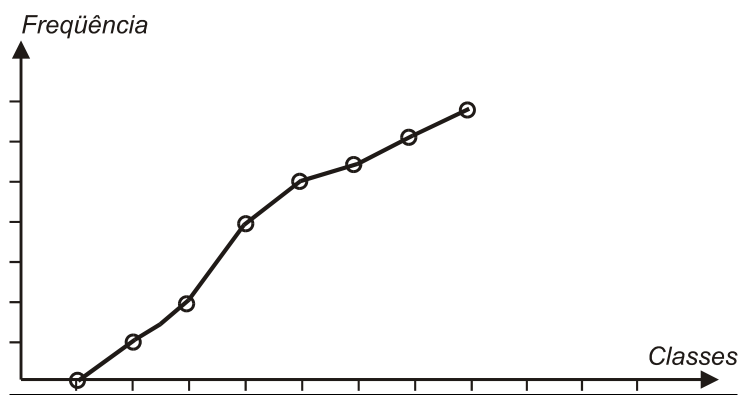


Figura 2

O polígono de freqüência é formado por segmentos de reta que unem o centro de cada barra e podendo se aproximar bastante de uma curva contínua denominando **curva de freqüência** e que tem a curva normal em forma de sino.

Também é possível acumular as freqüências das classes, de modo a se obter o polígono de freqüência acumulada.

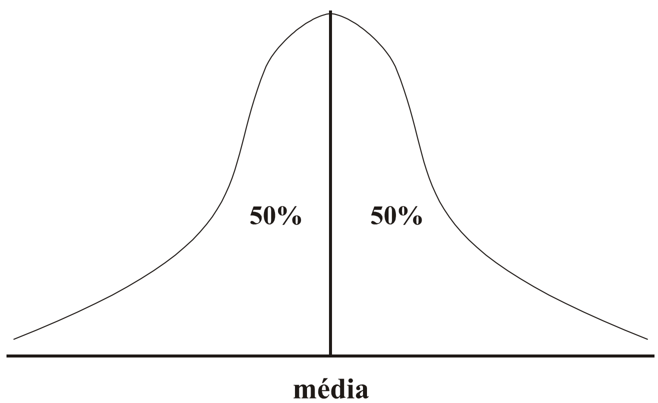


O Controle Estatístico de Processo detém-se ao estudo das variações que o processo apresenta, sejam elas comuns ou especiais. As primeiras são inerentes ao processo e o que se pode fazer é apenas diminuí-las de modo a minimizá-las no conjunto formado por: máquina, mão de obra, método, material, meio ambiente e meio de medição. A mudança de um ou mais destes itens pode alterar as variações aleatórias ou comuns.

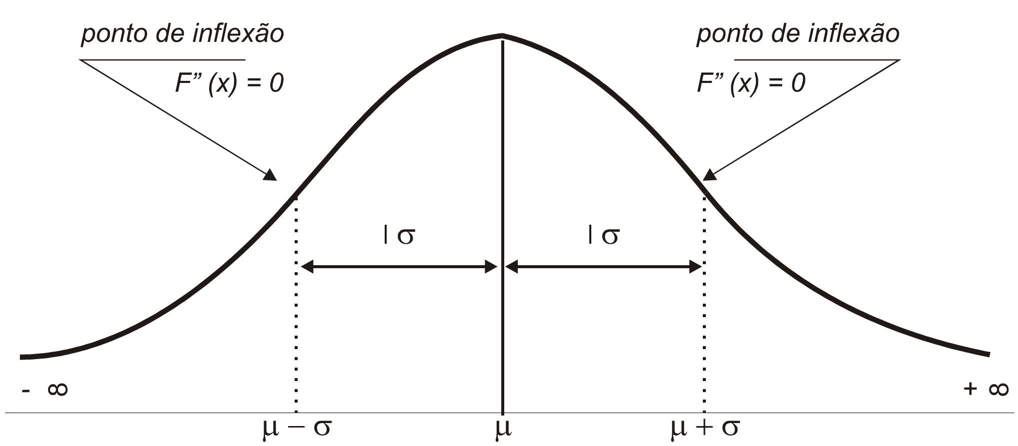
Essas variações aleatórias são específicas e únicas em processos estáveis e têm características diferentes para cada processo. Entretanto, na maioria das aplicações industriais, o que se encontra, para análise estatística, é um tipo de distribuição que representa matematicamente essas variações: a **distribuição normal**.

Seu aspecto gráfico, você já sabe, é a forma de um sino e, para sua construção, são necessários dois parâmetros: a média (μ) e o desvio padrão (σ).

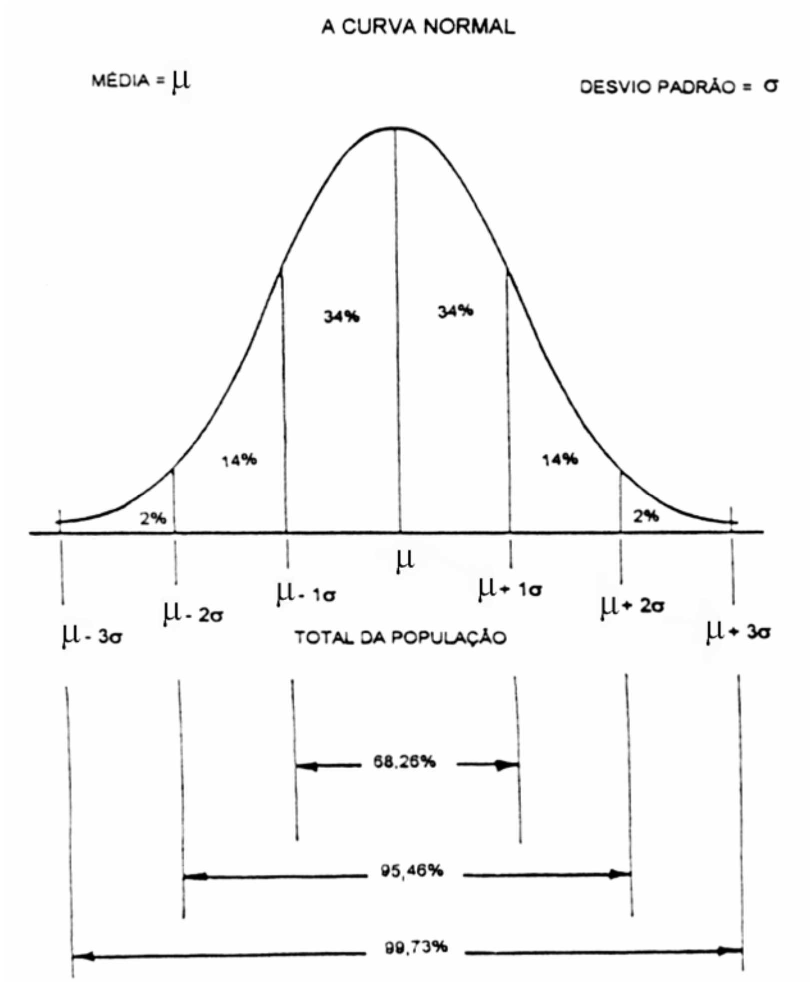
A curva teórica é simétrica na relação à média.



A curva normal se estende desde “menos infinito” até “mais infinito” e, por ser uma curva de probabilidade, a área limitada pela mesma representa a probabilidade de se encontrar todas as observações e, portanto, é igual a 1. A média (μ) coincide com o ponto máximo e a “distância” de μ até o ponto onde muda a concavidade da curva, ou seja, o ponto de inflexão, é a medida do desvio padrão (σ). A média pode ser representada também por $\overline{X}$ ou $\overline{\overline{X}}$, quando se trata de amostras/

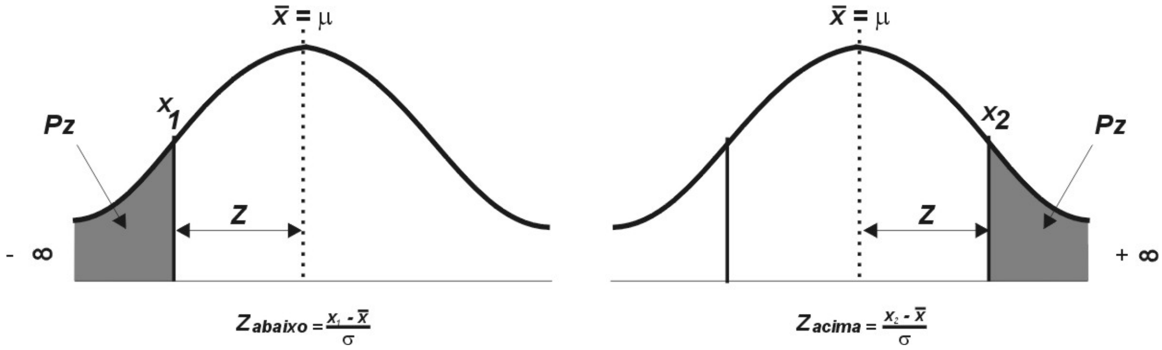


A área sob a curva normal costuma ser dividida em zonas de probabilidades, cada uma das quais com a mesma base, ou seja, o mesmo desvio padrão.



Cálculo das áreas sob a curva normal

Ao se conhecer a média (μ) e o desvio padrão (σ) da distribuição, sabe-se também que, para a distribuição normal, a área sob a curva é simétrica, (50% para cada lado da média (μ). Pode-se, então, utilizando as propriedades da distribuição normal, calcular a área (probabilidade) sob a curva, em qualquer trecho.

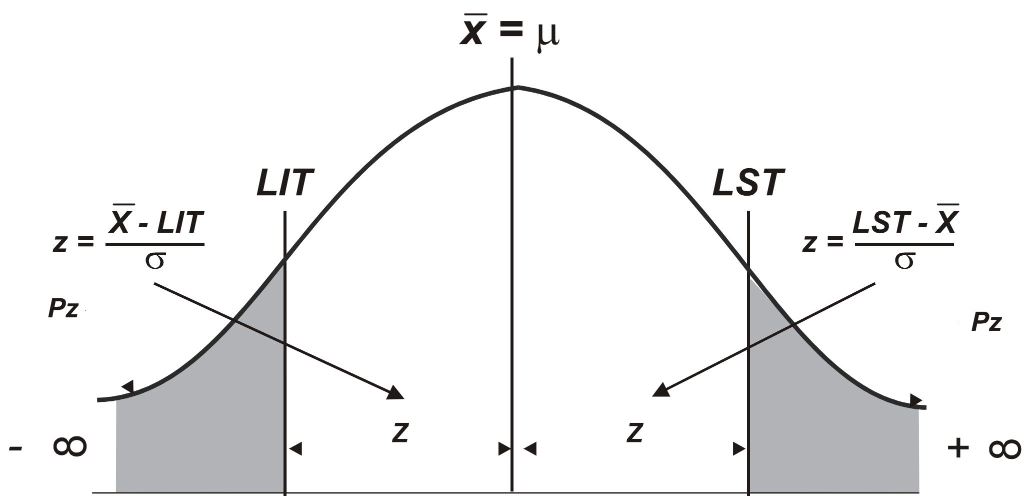


Comentários

Se X1 = LIT (Limite Inferior de Tolerância) e X2=LST (Limite Superior de Tolerância) essas áreas representarão a porcentagem de produtos fora da especificação. Como se procederá ao cálculo do fator "z"? O % é determinado através da tabela no Anexo III.

Veja: Se se quiser determinar a % abaixo da especificação, utiliza-se:
z (abaixo) = ($\bar{X}$ - LIT) / σ

Se se quiser determinar a % de peças ou produtos acima da especificação, utiliza-se:
z(acima) = (LST - $\bar{X}$) / σ

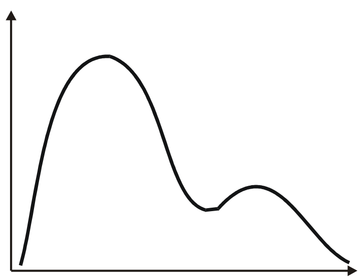


Como as variações especiais afetam a curva normal

As variações casuais, chamadas de causas especiais, contribuem para o aumento das variações do processo. Como este é composto por máquina, mão de obra, meio ambiente, matéria-prima, meio de medição e método, qualquer desarranjo em um ou mais desses elementos vão afetá-lo drasticamente.

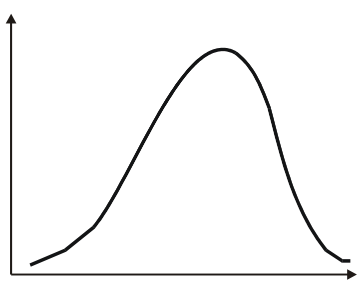
Exemplos dessas ocorrências são as mudanças de temperatura, ferramenta gasta, fadiga do operador e até a participação de dois ou mais operadores ou máquinas no mesmo produto.

Ao ocorrer o fenômeno, a curva de distribuição de freqüência fica alterada devido ao desequilíbrio imposto ao processo, perde o formato de sino (curva normal) e pode adquirir os seguintes aspectos:

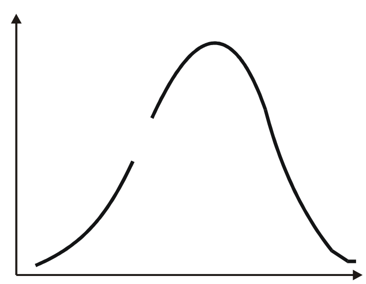


Distribuição Bi-Modal

Distribuição Truncada



Desbalanceamentos



Distribuição afetada pela medição utilizada na coleta

Os estimadores estatísticos não devem ser utilizados nos casos em que não ocorrer a forma de sino. É necessário detectar as variações casuais, eliminá-las e, logo após, realizar novas coletas. Feito isso, o polígono de freqüência deve ser construído outra vez.

6. TEORIA DO CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

A primeira teoria do Controle Estatístico da Qualidade foi desenvolvida na segunda metade do século XX pelo Dr. Walter Shewart, dos Laboratórios Bell. Foi ele quem estabeleceu a distinção entre variação controlada e não controlada, devidas respectivamente às causas comuns e especiais e, para isso, criou um instrumento simples, porém eficaz, para separar causas especiais de causas comuns – a Carta ou Gráfico de Controle.

As Cartas de Controle têm sido utilizadas com sucesso em várias situações que envolvem Controle do Processo. Elas chamam a atenção para causas especiais de variação quando estas surgem, e refletem a magnitude das causas comuns de variação que devem, necessariamente, ser reduzidas pela ação gerencial.

Diversos tipos de Cartas de Controle foram desenvolvidos tanto para analisar Atributos (valores discretos) quanto Variáveis (valores contínuos). Elas apresentam três funções básicas:

1) Mostrar se um processo está sendo operado sob Controle Estatístico (sem causas especiais de variação) ou assinalar a presença de causas especiais de variação para as devidas ações corretivas/preventivas.
2) Manter o estado de Controle Estatístico mediante o uso dos limites de controle do processo como base para ações imediatas (eliminação das causas especiais).
3) Melhorar o desempenho do processo através da redução da variação devido às causas comuns. É o que se identifica como melhoria da Capacidade do Processo, que é a melhoria da capacidade de produzir dentro dos limites de especificação.

O objetivo final do uso de Cartas de Controle é o aperfeiçoamento do processo através da redução da influência das causas comuns.

As Cartas de Controle estabelecem uma linguagem comum, na forma documentada, para as comunicações do desempenho do processo – entre o pessoal da produção (operador da máquina, supervisor) e o pessoal de apoio (mecânicos, engenheiros de produção, inspetores da qualidade, etc).

Por distiguirem as causas especiais das causas comuns de variação, as Cartas de Controle dão indicação segura sobre se os problemas devem ser corrigidos no local (causas especiais) ou se requerem ação gerencial (melhoria da capacidade do processo através da redução das causas comuns). Isso reduz a confusão, a frustração e o custo de não direcionar adequadamente os esforços para resolver o problema.

7. CONTROLE DO PROCESSO

7.1 Introdução

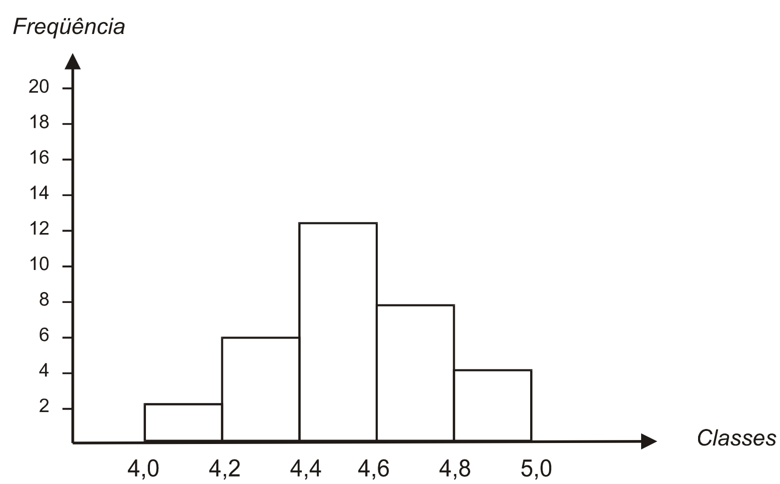
Os métodos vistos até agora agrupam os dados de um período passado, ou seja, aqueles que são expressos de forma estática. Entretanto, é indispensável para o pesquisador obter informações sobre o comportamento do processo em período específico de tempo de uma forma dinâmica e com projeções futuras.

Quaisquer mudanças no material, no trabalhador, na máquina, enfim, no processo, deverão ser detectadas rapidamente para que as ações corretivas sejam tomadas. Isto é possível conseguir através dos gráficos de controle.

7.2 Definição

Gráficos de controle são recursos utilizados para se alcançar o estado de controle do processo através de técnicas estatísticas.

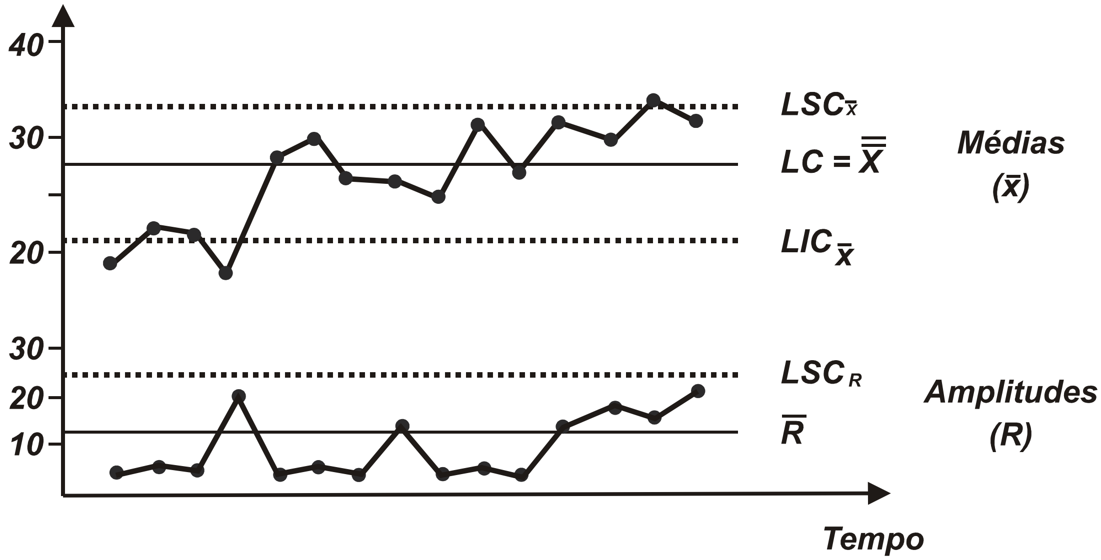
Veja a seguir o histograma obtido a partir de uma coleta de dados feita em 15 horas, num total de 75 valores (1 amostra de 5 dados a cada hora).



Neste histograma é impossível ver o que acontece com o processo no transcorrer do tempo. Para tanto, é preciso construir um outro tipo de gráfico.

Deve-se usar os mesmos dados do histograma e proceder da seguinte maneira:

1. Achar a média dos 5 valores ($\overline{X}$);
2. Achar a amplitude (R);
3. O eixo horizontal mostrará as horas e o eixo vertical mostrará a amplitude e a média.



Este gráfico mostra que os valores estavam baixos no princípio e que há uma tendência de subida com o decorrer do tempo, fato que não é observado no histograma.

7.3 Escolha do tipo de gráfico adequado

Há duas classes principais de gráficos de controle:

a. Controle de variáveis:

É aquele que se baseia em características mensuráveis e em escala ccontínua. Existem 4 tipos principais:

$\bar{X}$, R (média, amplitude)

$\bar{X}$, S (Média, desvio padrão)

$\tilde{X}$, R (mediana, amplitude)

X, R_m (valor individual, amplitude móvel)

b. Controle de atributos

É aquele que se baseia na verificação da presença ou ausência de um atributo, isto é, características não mensuráveis. São quatro os tipos principais:

- porcentagem de peças defeituosas – **p** (de amostras não necessariamente de mesmo tamanho)
- número de peças defeituosas – **np** ou pn (de amostras de tamanho constante)
- número de não conformidades - **c** (de amostras de tamanho constante)

- fração de não conformidades por unidade - **u** (amostras podem ter tamanho variável)

7.4 Finalidade dos Gráficos

Os gráficos são utilizados para se conhecer e controlar o processo.

a. **Conhecimento do processo**, quando se deseja conhecer ou saber se o processo está ou não controlado, ou seja, se apresenta ou não variações do tipo especial;

b. **Controle do processo**, quando se deseja manter o processo sob controle estatístico, ou seja, apresentando apenas variações comuns, ao longo do tempo.

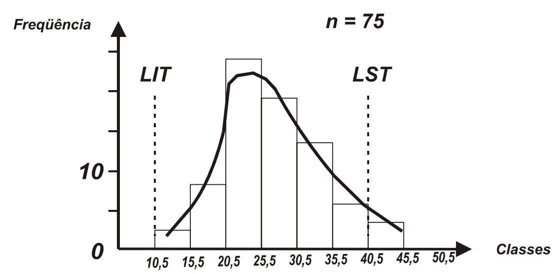
7.5 Limite de Tolerância e de Controle

Limite de tolerância : Informa se o processo está produzindo ou não dentro do especificado no desenho, pela engenharia do produto.

Limite de controle : Informa se o processo esta sob controle estatístico, ou em outras palavras, se apresenta apenas variações aleatórias.

Normalmente, os limites de controle são:

LIC = média - 3 desvios padrão
LSC = média + 3 desvios padrão



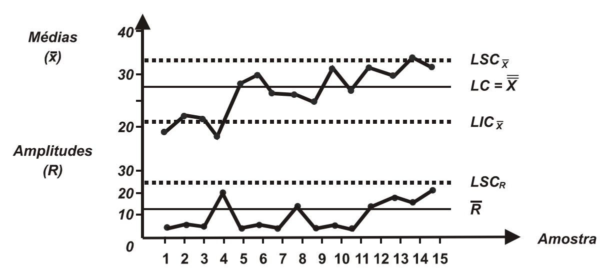


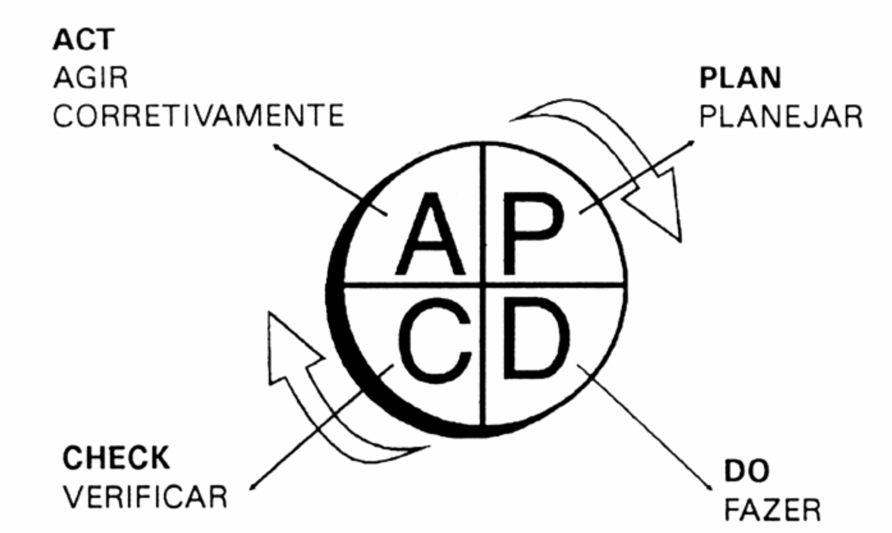
Gráfico $\bar{X}$, R

7.6. Melhoria da Qualidade do Processo

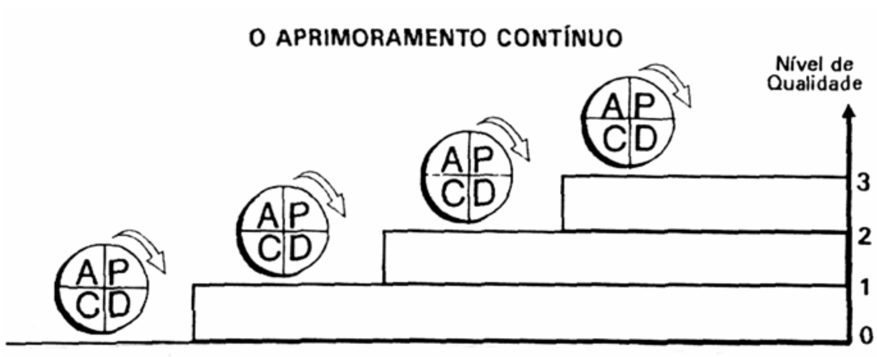
O “guru” da Qualidade J.M. Juran focaliza na melhoria de “projeto por projeto” segundo a trilogia:

- Planejamento da qualidade
- Controle de qualidade
- Aprimoramento da qualidade

De forma análoga, W.E. Deming estabeleceu um ciclo contínuo para a melhoria do processo, que foi aperfeiçoado pelos japoneses originando o ciclo PDCA (Plan, Do, Chek, Act):



O ciclo PDCA é a base para a melhoria contínua de qualquer processo (ou subprocesso).



8. GRÁFICOS DE CONTROLE

Os Gráficos de Controle são comumente usados para alcançar um estado de controle estatístico, monitorar um processo e determinar a aptidão do processo (capacidade qualitativa ou capabilidade).

8.1 Conceitos Básicos dos Gráficos de Controle

As amostras coletadas são apenas dados utilizados para se chegar à informação sobre a população. Em outras palavras, estima-se a média μ e o desvio padrão σ da população, através das amostras.

Estimativa da média μ da população:
$\mu = \overline{X}$ (para carta X, Rm)
$\mu = \overline{\overline{X}}$ (para carta $\overline{X}$, R ou $\overline{X}$, s)

Estimativa do desvio padrão σ da população: Tanto R (amplitude da amostra) como s (desvio da amostra) são estimadores válidos da σ da população mas, somente se os subgrupos são tomados ao acaso de uma população estável. Para o número de elementos do subgrupo (n) igual a 2 não há diferença em usar o s ou R, mas para um n=3, por exemplo, o s é mais confiável, pois a amplitude considera apenas os dois pontos extremos e ignora a informação contida no ponto central. A desvantagem da utilização do s é a dificuldade de cálculo (necessita-se de calculadora com função estatística ou computador). Sempre que possível, deve-se usar s.

Limites de Controle:
Os limites de controle são estabelecidos a partir da média +/- 3 desvios padrão do parâmetro considerado.

Determinação dos Limites de Controle:

1) $\overline{X}$, R (Ver anexo I)

Gráfico $\overline{X}$: Gráfico R:

$LSC_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} + A_2\overline{R}$ $LSC_R = D_4\overline{R}$
$LIC_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} - A_2\overline{R}$ $LIC_R = D_3\overline{R}$

Desvio padrão estimado do processo: $\hat{\sigma} = \overline{R}/d_2$

2) $\overline{X}$, s (Ver anexo I)

Gráfico $\overline{X}$: Gráfico s:

$LSC_{\overline{x}} = \overline{\overline{X}} + A_3\overline{s}$ $LSCs = B_4\overline{s}$

$LIC_{\overline{x}} = \overline{\overline{X}} - A_3\overline{s}$ $LICs = B_3\overline{s}$

Desvio padrão estimado do processo: $\hat{\sigma} = \overline{s}/c_4$

3) $\widetilde{X}$, R (medianas, ver anexo II)

As fórmulas são parecidas com as do $\overline{X}$, R. As diferenças são o uso de $\widetilde{A}_2$ no lugar de A_2 e de $\overline{\widetilde{X}}$ no lugar de $\overline{\overline{X}}$.

8.2 Benefícios das Cartas de Controle

Quando adequadamente usadas, as cartas de controle podem:

- Ser usadas pelos operadores para o controle do processo.
- Auxiliar a manter o funcionamento normal do processo tornando previsíveis qualidade e custos.
- Permitir que o processo atinja: melhor qualidade, menor custo unitário, maior capacidade de produzir.
- Fornecer uma linguagem comum na análise do desempenho do processo.
- Separar as causas especiais das causas comuns de variação direcionando: ação no local, ação gerencial.

8.3 Vantagens das Cartas de Controle

É importante resumir algumas vantagens que podem advir do uso de Cartas de Controle:

- A Carta de Controle é uma simples e eficiente ferramenta para alcançar o estado de Controle Estatístico. Ela pode ser utilizada no local de trabalho pelo próprio operador. Ela fornece ao pessoal envolvido na operação, informação confiável de quando agir e de quando não agir no processo.
- Quando um processo está sob Controle Estatístico, seu desempenho em atender especificações é previsível. Assim ambos, fornecedor 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 – mesmo decorrentes de modificações sutis – podem ser identificados pelas informações das Cartas de Controle.

As melhorias do processo são:

- Aumenta a porcentagem do resultado que atende às expectativas do cliente (melhora a qualidade);
- Diminui o refugo e o retrabalho (melhora o custo unitário);

8.4 Variáveis Versus Atributos

Gráficos para dados variáveis exigem medições em uma escala contínua, tais como comprimento, peso, pH ou resistência. Gráficos para atributos exigem somente uma classificação de medições descontínuas tais como boa ou má. Isso não pode ser desconsiderado nunca. É que os dados variáveis contêm mais informações que atributos e, conseqüentemente, são preferidos para Controle Estatístico do Processo e essenciais para diagnósticos.

Gráficos para atributos serão úteis desde que a taxa de defeitos seja alta o bastante para aparecer no gráfico com um tamanho de subgrupo razoável. O que ocorre é que as exigências atuais de qualidade competitiva em muitas indústrias são tão altas que os gráficos de atributos são inúteis .

8.5 O Uso dos Gráficos de Controle

As amostras geralmente consistem em mais de uma medição individual, e por isso são chamadas de subgrupos. Os gráficos de variáveis são geralmente baseados em subgrupos de 4 a 10 indivíduos, os gráficos de atributos num mínimo de 50. São medidos 25 subgrupos e colocadas na ordem de produção.

Uma linha central é esboçada em cada gráfico utilizando a média dos parâmetros já relatada.($\overline{\overline{X}}$ e $\overline{R}$ ou $\overline{s}$)

Os limites de controle são estabelecidos a partir de média +/- 3 desvios-padrão. Há o limite superior de controle (LSC) e o limite inferior de controle (LIC). A faixa entre os limites de controle define a variação aleatória no processo. Os pontos fora dos limites de controle indicam uma ou mais causas determináveis (especiais) de variação.

Depois que uma causa determinável de variação é descoberta e eliminada, novos limites de controle calculados a partir de médias e amplitudes de 25 novos subgrupos quase sempre resultam em uma aptidão de processo substancialmente aprimorada. Um processo que tem apenas causas comuns ou aleatórias de variação está "sob controle estatístico".

Como foi dito anteriormente os subgrupos devem ser formados na seqüência de produção. Se assim não for, os gráficos não serão reais.

Gráficos de Controle tem um papel importante na aceitação do produto. Afinal, o controle estatístico verifica a estabilidade do processo e a homogeneidade do produto.

Os passos para a construção de um gráfico de controle estão listados na seqüência.

1º. Tome 25 subgrupos. (o tamanho de cada um dependerá do tipo de gráfico que se queira reproduzir);

2º. Registre quaisquer mudanças no processo durante a coleta dos dados. (material, operário, ferramenta, etc);

3º. Calcule limites de controle preliminares a partir desses dados e, por último,

4º. Inscreva os pontos de cada subgrupo no gráfico.

A maioria dos processos industriais não está sob controle quando analisados pela primeira vez. Alguns pontos fora dos limites de controle é freqüente e as razões para estas causas determináveis podem ser descobertas e eliminadas. À medida que as correções vão sendo feitas no processo, novos dados devem ser coletados, limites de controle recalculados e novos dados colocados nos gráficos com os limites revisados .

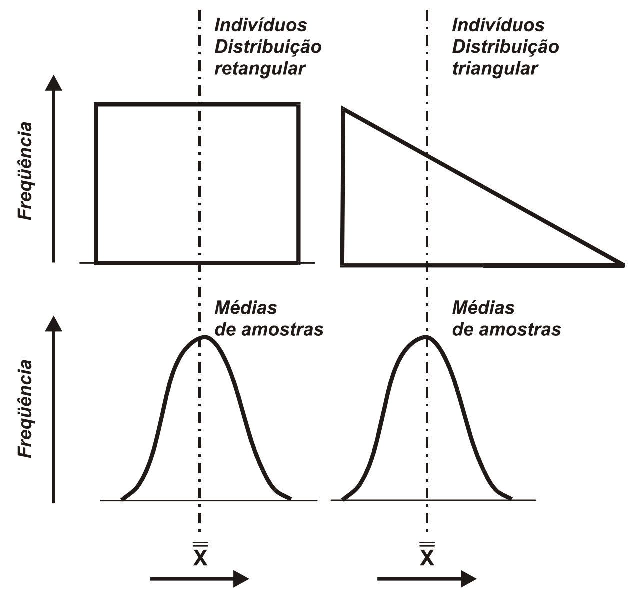
O cálculo dos limites de controle a partir de 10 e não de 25 subgrupos é prática comum, especialmente quando as operações de produção são curtas. Infelizmente, os valores calculados têm uma precisão consideravelmente menor.

Mesmo quando não se sabe de nenhuma mudança no processo, é uma boa idéia recalcular os limites de controle para todos os novos conjuntos de subgrupos.

8.6 Justificativa para o uso de médias

Teorema do Limite Central

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



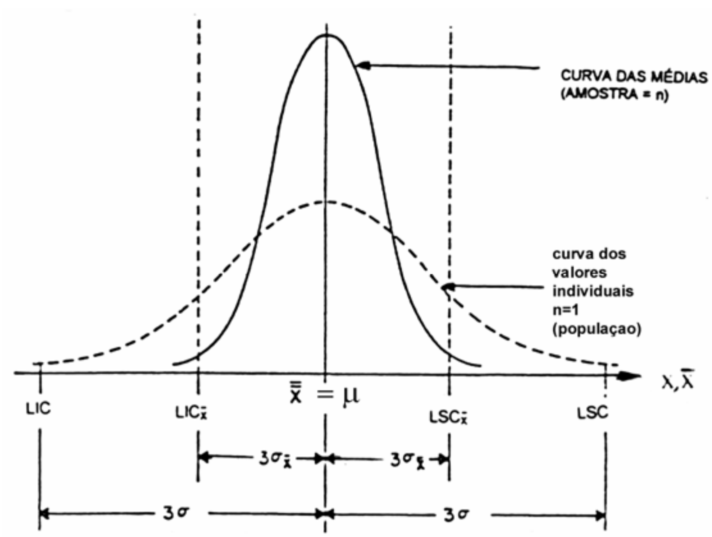
Pode-se mostrar que:

(i) A média $\overline{\overline{X}}$ em torno da qual devem variar os possíveis valores de $\overline{X}$ é a própria média da população μ.

(ii) O desvio padrão com que se dispersam os possíveis valores de $\overline{X}$ é $\sqrt{n}$ vezes menor que o desvio padrão da população de onde é retirada a amostra.

Assim,

$$\sigma_{\overline{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

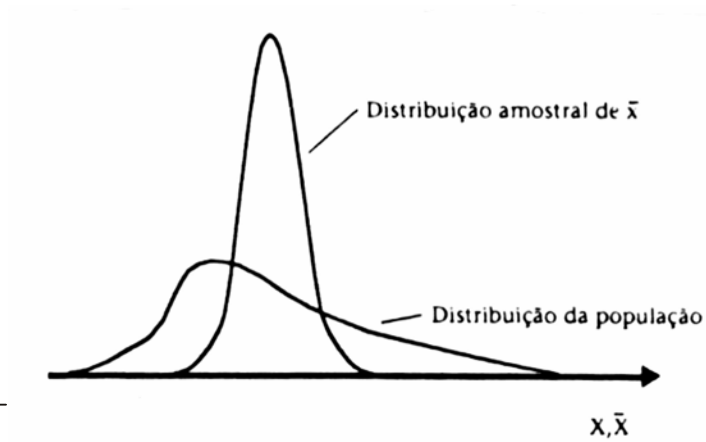


Distribuição amostral de $\overline{X}$ - população normal

Por outro lado, se a distribuição da população não for normal, mas a amostra for suficientemente grande, resultará, do teorema do limite central, que, no caso de população infinita, a distribuição amostral das médias $\overline{X}$ será aproximadamente normal.

Na prática, uma amostra para a qual já se possa aproximar a distribuição de médias $\overline{X}$ por uma normal não necessita ser muito grande, especialmente quanto mais simétrica ou próxima da normalidade for a distribuição da população. Em muitos casos, uma amostra de quatro ou cinco elementos já é suficiente.

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{4}} = \frac{\sigma}{2}$$



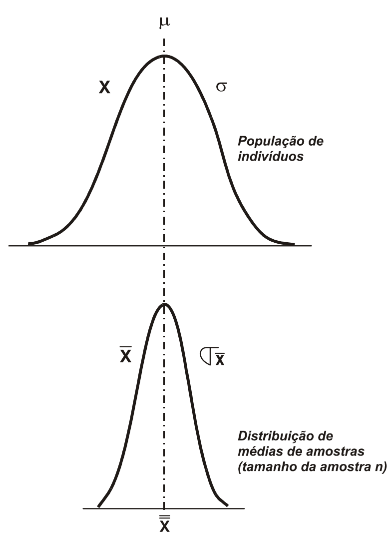
Distribuição amostral de $\overline{X}$ - população não-normal e amostra suficientemente grande

Quando a distribuição dos indivíduos é normal, com desvio padrão σ, a distribuição das médias das amostras $\overline{X}$ tem um desvio padrão $\sigma_{\overline{X}}$, sendo:

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

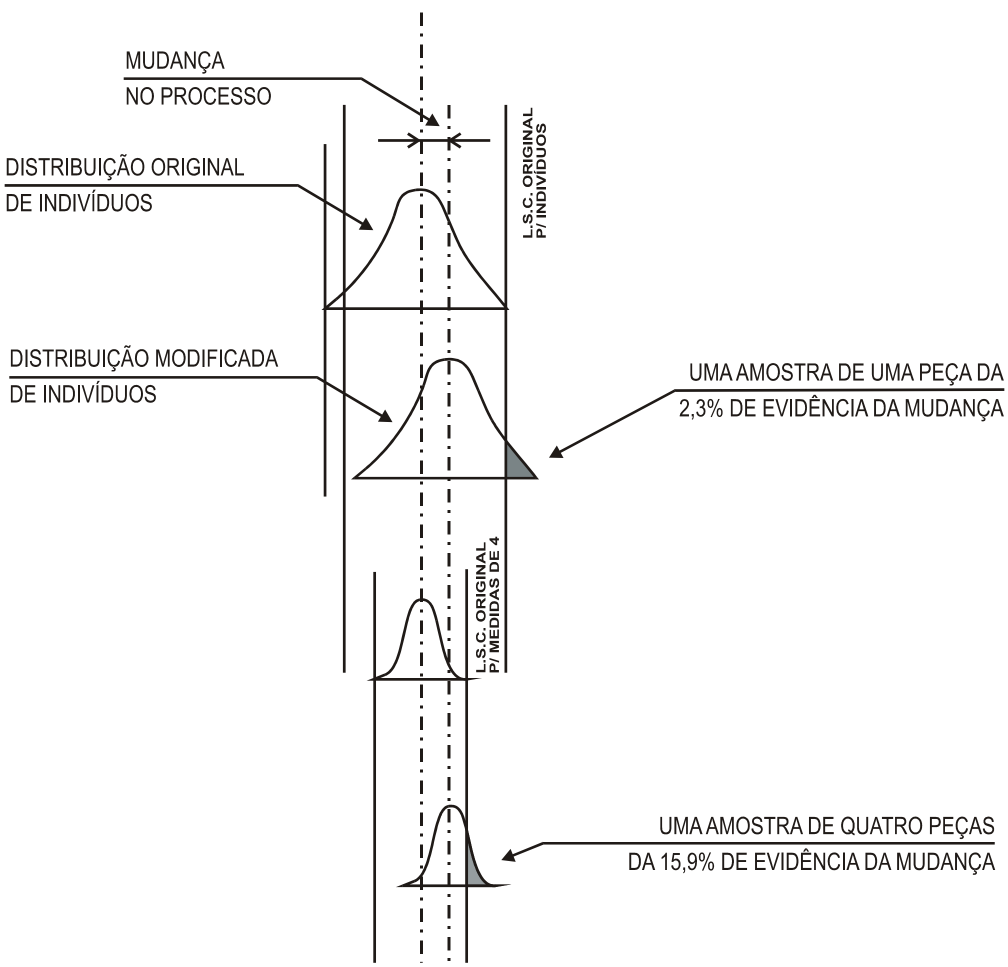
Exemplo para **n=4**

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{4}} = \frac{\sigma}{2}$$



As médias são mais sensíveis às mudanças indesejáveis que medidas individuais. Considere um processo no qual "σ" para itens individuais é 5 e a média dos indivíduos é 100. A amplitude 3σ dos indivíduos é 15, portanto, as linhas do limite de controle serão 100+15=115 e 100-15=85. Uma mudança no processo μ=de 100 para 105 mudará as linhas do limite 3σ para 120 e 90. A chance de um processo modificado cair fora das linhas do primeiro limite é cerca de 2,3%. Detectar a mudança com uma certeza de 95% exigirá, em média, 130 subgrupos de um indivíduo cada. Lembrar que o primeiro limite é o limite de controle estabelecido (original).

Se são usados subgrupos de quatro indivíduos, as linhas-limite serão 100 +/- $3\sigma/\sqrt{4}$ =100 +/- (3x5) / 2 = 107,5 e 92,5. Para a mesma mudança de média, de 100 para 105, a chance da média do subgrupo de quatro indivíduos cair fora das linhas do primeiro limite é mais ou menos 16%. Agora, detectar a mudança com certeza de 95% exigirá, em média, apenas dezessete subgrupos.



Mudança indesejável do processo para Limites de Controle em +/- 3 desvios padrão

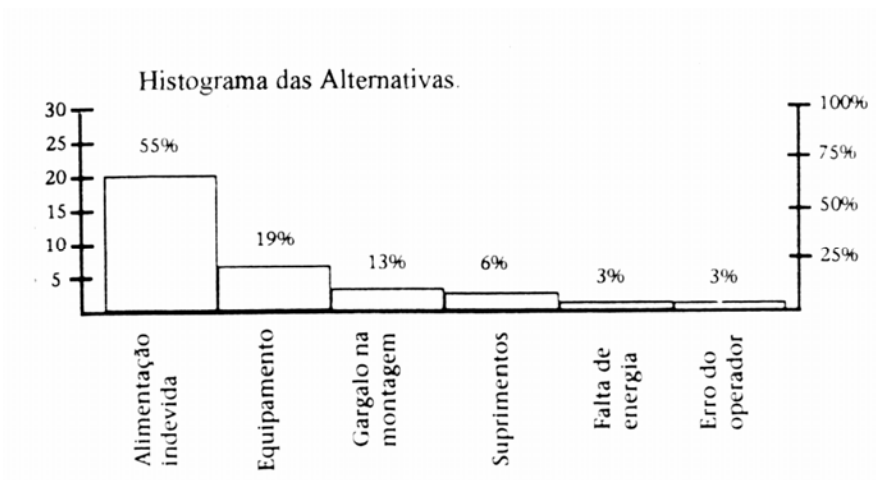
8.7 Procedimento para implantação do Controle Estatístico do Processo

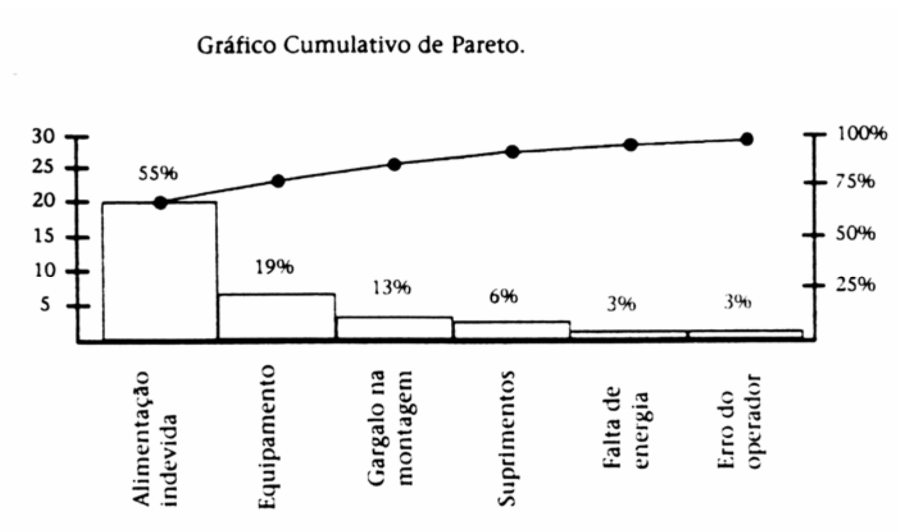
Para implantar o Controle Estatístico do Processo é necessário trabalhar com alguns recursos da Teoria do Controle de Qualidade, tais como a análise de Pareto e o gráfico de dispersão, entre outros.

Passos:

1. Escolha a característica a ser colocada no gráfico. Esta é uma questão de opinião, mas use as seguintes orientações :

a) Dê maior prioridade às características que estão apresentando defeito na produção e onde os controles de ajuste estão mais disponíveis para o operário. Uma análise de Pareto pode estabelecer prioridades para as causas.





b) Identifique as variáveis e condições de processo que estão contribuindo para as características finais do produto. Por exemplo, pH., concentração de sal e temperatura de solução para galvanização são variáveis de processo que poderiam contribuir para a uniformidade da galvanização. A seleção de tais variáveis é geralmente subjetiva e por vezes baseada em opiniões. A objetividade é necessária. Um passo útil é fazer um gráfico de dispersão dos dados quanto às variáveis suspeitas versus a característica do produto final.

c) Escolha características que oferecerão os tipos de dados necessários para diagnóstico do problema. Atributos oferecem informações resumidas, mas podem precisar ser suplementadas por variáveis para diagnosticar as causas e determinar a ação.

2. Escolha o tipo de gráfico de controle.

3. Decida a linha central a ser tomada e a base de cálculo dos limites de controle. A linha central pode ser a média dos dados passados ou pode ser uma média desejada (isto é, um valor padrão). Os limites são geralmente estabelecidos em +/- 3σ, mas outros múltiplos podem ser escolhidos para diferentes riscos estatísticos. Os gráficos que usam limites 2σ , ou mesmo 1,5σ, são mais econômicos que gráficos que usam os limites 3σ convencionais. Isto é verdade se for possível decidir sem demora e sem gastos que nada está errado com o processo quando um ponto (apenas por acaso) fica fora dos limites de controle, isto é, quando o custo por um problema que não existe é baixo. De um outro ponto de vista, será mais econômico usar gráficos com limites de 3σ e 4σ se o custo da procura do problema for muito alto.

4. Escolha a freqüência de subgrupos (os indivíduos dentro do subgrupo devem ser consecutivos). A taxa de mudança no processo (desgaste de ferramenta ou deterioração de uma solução química) determinará o tempo máximo a ser permitido entre subgrupos.

5. Escolha do tamanho do subgrupo. Normalmente n=5.

6. Estipule o sistema para a coleta de dados. As medições devem proporcionar leituras confiáveis e imediatas. Os instrumentos de registro direto são os melhores, pois que os resultados são obtidos o mais rápido possível. Adiar o registro dos dados para o final do dia anulará o valor dos gráficos.

7. Calcule os limites de controle e ofereça instruções específicas sobre interpretação de resultados e atitudes a serem tomadas.

8.8 Tipos de gráficos de controle

Tipos de dados	Parâmetros	Uso típico	Vantagens	Desvantagens	Comentários
Variáveis					
$\overline{X}$ e R/s	Média e amplitude ou desvio-padrão do subgrupo	Processos onde predomina o uso da máquina	Uma ótima visão da variação estatística de um processo	Cálculos complexos, resposta demorada, relação indireta entre limites de controle e tolerância	Selecionar cuidadosamente o tamanho do subgrupo, freqüência e número de subgrupos usados para o estabelecimento e restabelecimento de limites de controle
X e Rm	Medida individual e amplitude do subgrupo	Onde apenas uma observação por lote é disponível	Mais rápidos, mais fáceis de serem completados e explicados. Comparáveis diretamente à tolerância	Não tão sensíveis quanto gráficos $\overline{X}$ e R	
Atributos					
p **np** **u** **c**	Fração não-conforme Número de não-conformes Fração de não-conformidades por unidade Número de não-conformidades	Apenas dados de atributos disponíveis ou para monitorar qualidade de uma unidade complexa com mais de uma característica de interesse	Os dados são geralmente mais fáceis de se obter do que os dados de variáveis. Os cálculos são mais fáceis que no gráfico $\overline{X}$, R.	Atributos não são tão úteis para trabalho de diagnóstico quanto os dados variáveis	À medida que a qualidade melhora, os subgrupos ficam maiores. Consequentemente, todos os gráficos de atributos devem tornar-se obsoletos.

8.9 Gráficos de Controle para Variáveis

Gráficos de controle para média e amplitude, $\overline{X}$ e R:

Para tamanho do subgrupo, n>10, use desvio-padrão S em vez de amplitude R.

No controle da qualidade através deste gráfico, deve-se controlar o valor médio de desempenho do processo e também a sua variabilidade. O controle do valor médio é efetuado pelo gráfico das médias ($\overline{X}$), enquanto que o controle da variabilidade pelo gráfico dos desvios padrão (s) ou pelo gráfico das amplitudes (R). Na prática, é mais comum o uso do gráfico das amplitudes ao invés do gráfico dos desvio padrão no controle da variabilidade. A grande vantagem nesse caso é a facilidade da determinação da amplitude.

Valores de $\overline{X}$ fora dos limites de controle são evidência de uma mudança geral afetando todas as peças depois do primeiro subgrupo fora dos limites. Estude o registro mantido durante a coleta de dados, a operação do processo e a experiência do operário, tentando descobrir uma variável que poderia ter feito com que os subgrupos saíssem de controle. Causas típicas são mudança no material, pessoal, ajuste de máquinas, desgaste de ferramentas, temperatura ou vibração.

Valores de R fora dos limites de controle são evidência de que a uniformidade do processo mudou. Causas típicas são mudança de pessoal, aumento de variabilidade de material ou desgaste excessivo no maquinário do processo. Em caso de aumento repentino em R, isto seria um alerta quanto a um acidente iminente no maquinário.

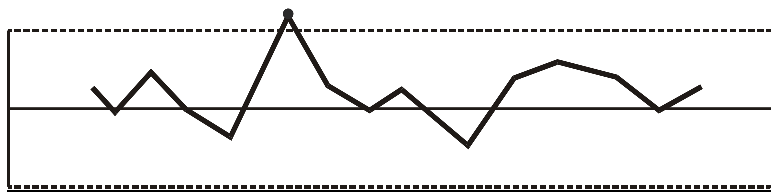
Gráfico de Controle para Medidas Individuais e Amplitude, X e Rm:

Ele não é tão sensível como o gráfico $\overline{X}$. Ao contrário dos limites de controle para médias, os limites de controle para médias individuais podem ser comparados diretamente com limites de tolerância.

8.10 Interpretação de Gráficos de Controle

PROCESSO FORA DE CONTROLE ESTATÍSTICO

1. Pontos fora dos limites de Controle
Quando surge uma situação de um ponto fora dos limites de controle, deve-se procurar algo no processo que tenha causado o problema. Quanto antes se detectar o problema, mais fácil será encontrar a causa e corrigir o processo.



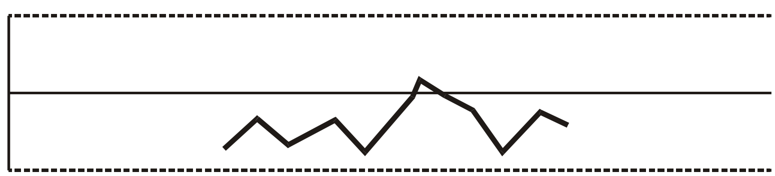
2. Corrida: pontos abaixo ou acima da linha média.

a) 7 consecutivos

b) 10 em 11

c) 12 em 14

Esta situação caracteriza desvio do processo. Deve ser centralizado antes de prosseguir.



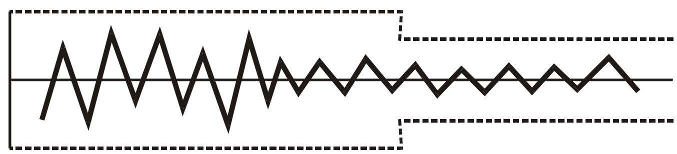
3. Seqüências crescentes ou decrescentes: tendência. (7 pontos consecutivos crescentes ou decrescentes).

Procurar causas como:

Ferramenta gasta

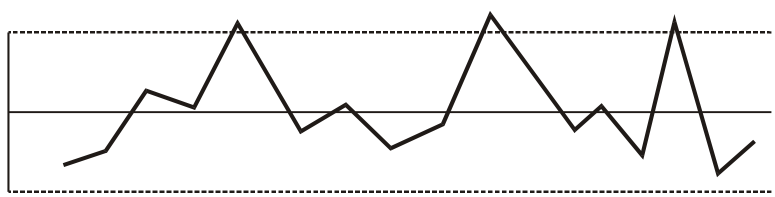
Fadiga do operador

4. **Aproximação da linha central. Redução das variações aleatórias devido à melhoria estável no processo. Novos limites devem ser determinados para se manter a melhoria.**



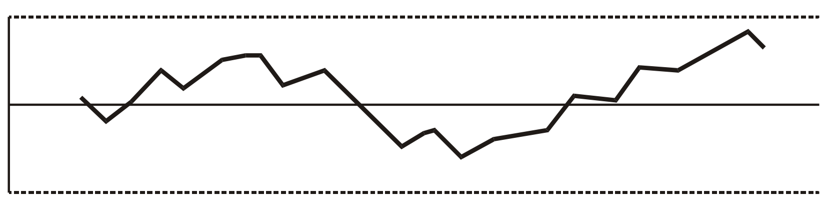
5. Pontos fora de um dos limites.

Quando diversos pontos começam a cair fora de um dos limites sem aparente tendência, salto ou ciclo, existem provavelmente duas populações diferentes. É preciso procurar causas como algumas peças de fornecedor diferente, operador substituto, etc.



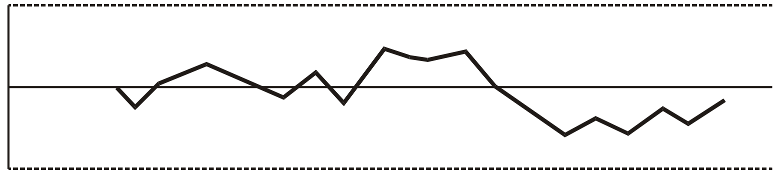
6. Ciclos

Quando um gráfico apresenta seqüências acima e seqüências abaixo periodicamente, é necessário procurar causas de natureza periódica como início do ajuste, rotação de operadores, período de aquecimento, etc.



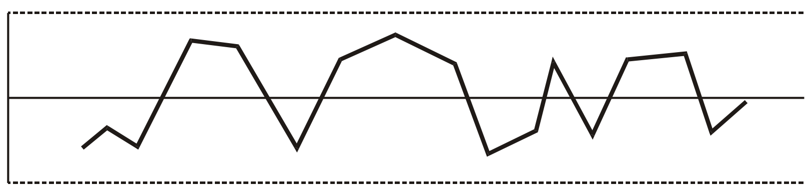
7. Saltos no nível

Uma mudança brusca no nível indica mudanças bruscas no processo. As causas geralmente são novo operador, novo ajuste, mudança de material, etc.



8. Duas populações

A existência de poucos pontos próximos da linha central denuncia a probabilidade de estarem existindo duas populações. É necessário separar os dados como em 2 máquinas, 2 fornecedores, operadores, etc.

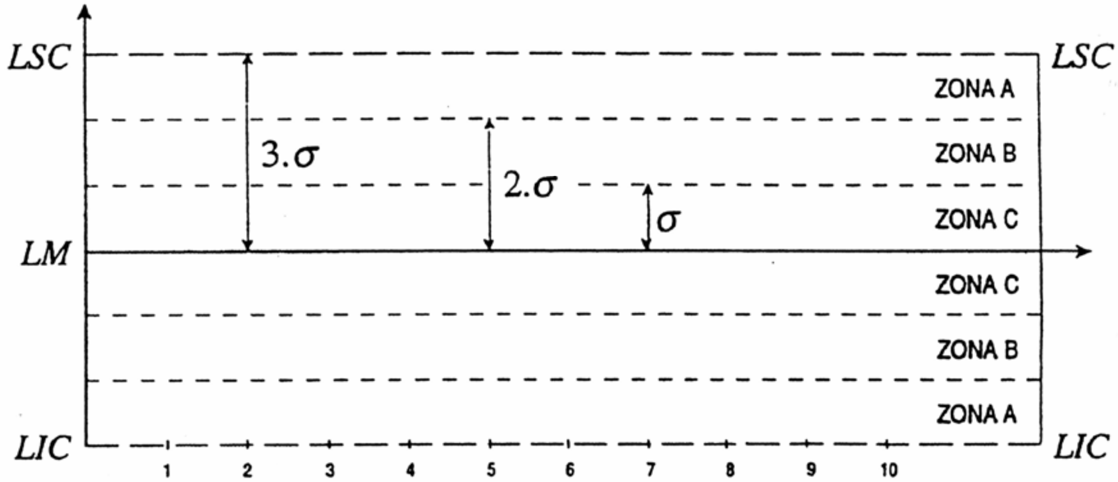


TESTES DE NELSON

Nelson desenvolveu oito testes para detecção de causas especiais, aplicáveis em gráficos de controle da média e de medidas individuais. O gráfico de controle é dividido em seis zonas de igual largura (um desvio-padrão), no espaço entre o limite superior e inferior de controle, chamadas de zonas A, B, C, C, B e A, localizadas simetricamente em relação à linha média. A figura seguinte mostra essa divisão.

A falha em um único teste evidenciará a presença de causas especiais. Os testes são os seguintes:

1. Um único ponto além da zona A, ou seja, acima do limite superior ou abaixo do limite inferior de controle;
2. Sete pontos consecutivos na mesma metade do gráfico, ou seja, todos acima ou todos abaixo da linha média (corrida);
3. Sete pontos consecutivos constantemente aumentando ou diminuindo no gráfico (tendência);
4. Quatorze pontos consecutivos alternando-se para cima e baixo no gráfico;
5. Dois em três pontos consecutivos na zona A;
6. Quatro em cinco pontos consecutivos na zona A ou B;
7. Quinze pontos consecutivos na zona C (acima ou abaixo da linha média);
8. Oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha média, nenhum deles na zona C.

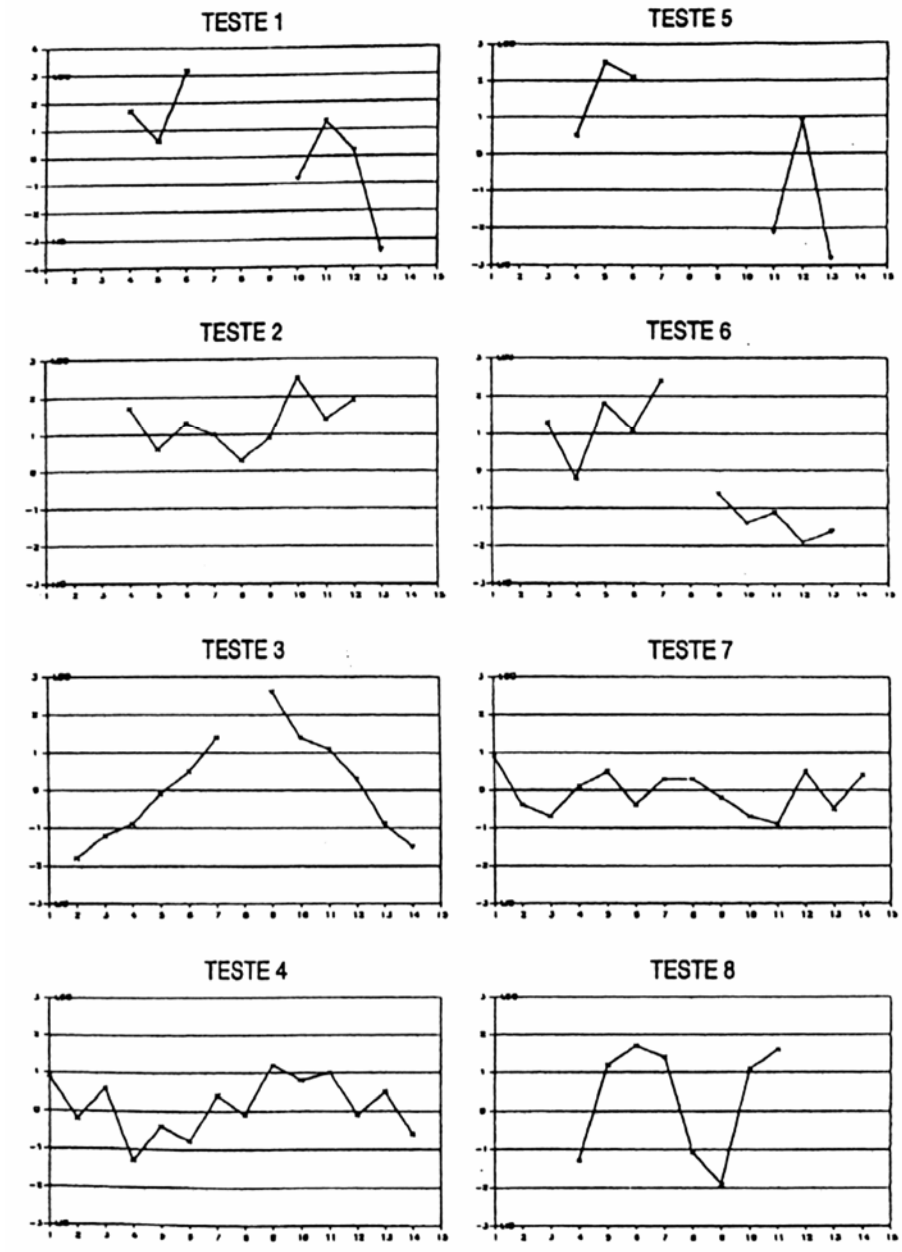


Zonas para os testes de Nelson.

Seguem-se alguns comentários a respeito desses testes:

a. Todos os oito testes estão baseados nas propriedades da distribuição normal e, portanto, somente devem ser aplicados aos gráficos de controle da média ou medidas individuais ou, ainda, aos gráficos de controle de atributos, desde que seja válida a aproximação da distribuição binomial ou de Poisson pela distribuição normal;
b. Os testes 1, 2, 5 e 6 devem ser utilizados, separadamente, para a metade superior ou inferior do gráfico de controle;
c. Os testes 3, 4, 7 e 8 podem ser empregados para o gráfico de controle inteiro;
d. A probabilidade de um falso sinal de presença de causa especial de variação é menor que 1,0% em cada um desses testes.

A figura seguinte mostra graficamente exemplos desses oito testes.



Testes de Nelson.

8.11 Gráficos de Controle para Atributos

Devido a características próprias do processo, em certos casos a distribuição dos dados obtidos do processo será dos tipos **contável** e **não mensurável**.

Nos casos em que não é possível realizar medições das características do processo, é preciso recorrer aos gráficos de controle por atributos. Eles são utilizados especialmente quando se verifica uma ou mais de uma das seguintes condições:

a) o número de características a controlar em cada peça é elevado;
b) em lugar de mensurações, só é viável empregar calibradores tipo passa-não-passa;
c) a mensuração da característica é antieconômica diante do custo de cada peça;
d) a verificação de qualidade é feita por simples inspeção visual.

Gráficos de Controle para Fração Não-Conforme:

Fração não-conforme, **p**, é a taxa de itens não-conformes em relação ao número total de itens num subgrupo. Ela pode descrever uma única característica de qualidade, duas ou mais características consideradas coletivamente. Uma distinção é feita entre uma não-conformidade (por exemplo, um defeito) e uma unidade não-conforme (por exemplo, uma unidade defeituosa). Uma não-conformidade é um exemplo único de não-conformidade com alguma exigência; uma unidade não-conforme é um único item contendo uma ou mais não-conformidades.

Quanto melhor a qualidade, tanto maior o tamanho do subgrupo necessário para detectar falta de controle.

O gráfico **p** deverá ser utilizado quando desejarmos controlar a porcentagem ou porção defeituosa na amostra.

As peças, de acordo com o critério estabelecido são classificadas em perfeitas ou defeituosas.

Admitindo-se que o processo seja mantido sob o controle estatístico, a probabilidade de se produzir uma peça defeituosa mantém-se constante. Em conseqüência, a distribuição estatística dentro da qual o gráfico **p** trabalha é a binomial.

Passos para a construção do gráfico p **de controle:**

1º. Proceda à coleta de dados obtendo o número de dados que você precisa (no mínimo N=20 e n=50). Isto lhe dará o número de peças inspecionadas (n) e o número de defeituosas (np).

2º. Calcule a fração defeituosa para cada subgrupo com auxílio da equação.

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

3º. Ache a média da fração defeituosa.

$$\overline{p} = \frac{\textit{número total de produtos defeituosos}}{\textit{número total de produtos inspecionados}} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

4º. Calcule os limites de controle.

5º. Construa o gráfico desenhando os limites de controle e inscreva no gráfico os pontos que representam os valores médios das amostras.

$$LC = \overline{p}$$

$$LSC = \overline{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\overline{p} \cdot (1 - \overline{p})}{n}}$$

$$LIC = \overline{p} - 3 \cdot \sqrt{\frac{\overline{p} \cdot (1 - \overline{p})}{n}}$$

Observação: se n não for constante, usar $\overline{n}$.

Resultados de N=25 amostras de tamanho n=50 peças		
Amostra	np	Fração defeituosa p = np/n
1	1	0,02
2	2	0,04
3	3	0,06
4	3	0,06
5	5	0,10
6	4	0,08
7	4	0,08
8	1	0,02
9	2	0,04
10	2	0,04
11	4	0,08
12	4	0,08
13	4	0,08
14	5	0,10
15	4	0,08
16	4	0,08
17	5	0,10
18	1	0,02
19	5	0,10
20	2	0,04
21	0	0,00
22	5	0,10
23	3	0,06
24	3	0,06
25	4	0,08
Total	60	

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

$$\overline{p} = \frac{80}{1250} = 0{,}064$$

Calcula-se LSC e LIC:

$$LSC = \overline{p} + 3 \cdot \sqrt{\frac{\overline{p}.\ (1 - 0{,}064)}{n}}$$

$$LSC = 0{,}064 + 3 \cdot \sqrt{\frac{0{,}064.\ (1 - 0{,}064)}{50}}$$

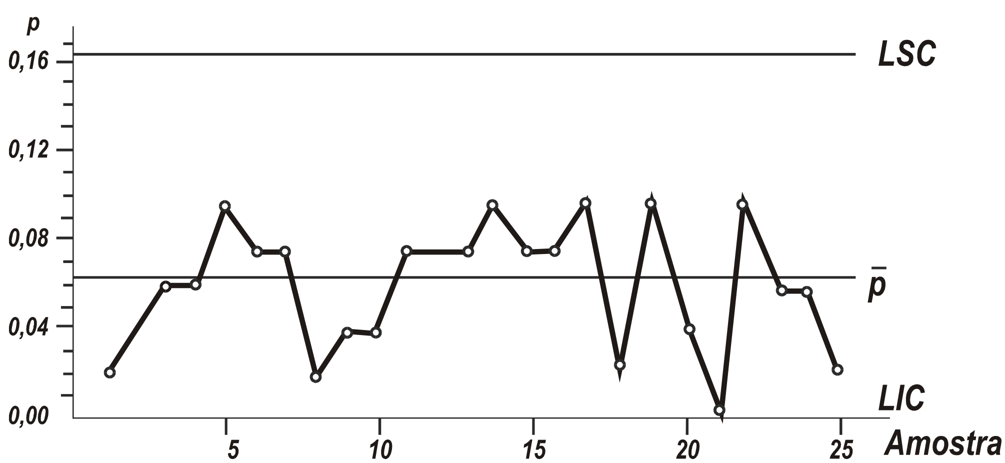
$$LSC = 0{,}168$$

$$LIC = 0{,}064 - 3 \cdot \sqrt{\frac{0{,}064.\ (1 - 0{,}064)}{50}}$$

$LIC = 0{,}064 - 0{,}104 = - 0{,}040$ ***Valor Negativo***

Neste caso, o que se tem é: $LSC = 0{,}168$
$LIC = 0$

O gráfico de controle será, então, como na figura que segue:



Ainda que alguma amostra fique abaixo do limite inferior de controle, indicando uma fração não-conforme significativamente baixa, isto pode significar que há alguma causa determinável resultando em melhor qualidade. Estes pontos também podem ocorrer devido ao fato de o inspetor aceitar algumas unidades não-conformes por engano.

Gráficos de Controle para Número de Unidades Não-Conformes, np

O valor **np** é uma contagem direta do número de unidades não-conformes num número ou quantidade de elementos discrepantes (ou defeituosos) em uma amostra de tamanho **n** constante.

O gráfico **np** pode ser utilizado quando se deseja controlar o número ou quantidade de elementos discrepantes (ou defeituosos) em uma amostra de tamanho **n** constante.

Passos para a construção do gráfico **np** de controle:

1º- Colete os dados e registre o número de produtos defeituosos **np**.
2º - Ache a média de produtos defeituosos **p**.

$$\overline{p} = \frac{\text{número total de produtos defeituosos}}{\text{número total de produtos inspecionados}} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

$$\overline{pn} = \frac{\sum np}{N}$$

3 º- Calcule os limites de controle

$$LSC = \overline{p}.n + 3 . \sqrt{\overline{p}.n\ (1 - \overline{p})}$$

$$LC = \overline{p}.n$$

$$LIC = \overline{p}.n - 3 . \sqrt{\overline{p}.n\ (1 - \overline{p})}$$

4º - Construa o gráfico inscrevendo os pontos que representam o número de defeituosos (np) em cada amostra.

Exemplo: Mecanismo levantador de vidro, defeituoso

sub-grupo nº	sub-grupo tamanho n	número de defeituosos np	sub-grupo nº	sub-grupo tamanho n	número de defeituosos np
1	100	1	16	100	5
2	100	6	17	100	4
3	100	5	18	100	1
4	100	5	19	100	6
5	100	4	20	100	15
6	100	3	21	100	12
7	100	2	22	100	6
8	100	2	23	100	3
9	100	4	24	100	4

10	100	6	25	100	3
11	100	2	26	100	3
12	100	1	27	100	2
13	100	3	28	100	5
14	100	1	29	100	7
15	100	4	30	100	4

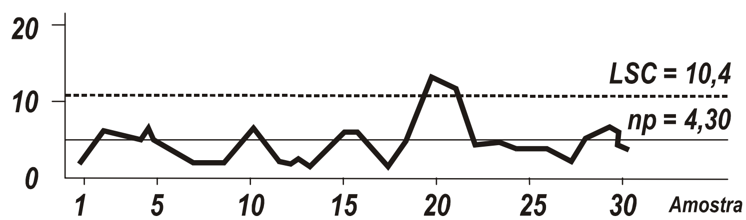
O que se tem é:

$$\begin{matrix} N = 30 \\ n = 100 \end{matrix} \quad \Rightarrow \quad \overline{p}.n = \frac{129}{30} = 4,3 \quad ou \quad \overline{p} = \frac{129}{3000} = 0,043$$

$$LC = \overline{p}.n - 0,043 \ . \ 100 = 4,3$$

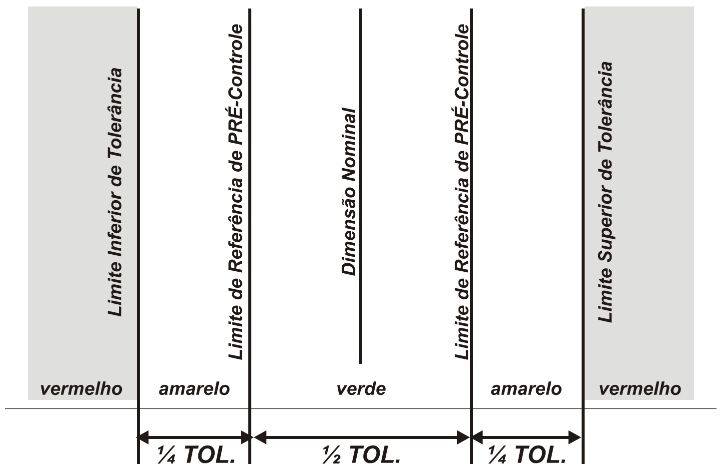
$$LSC = 4,3 + 3 \sqrt{4,3\ (1 - 0,043)} = 10,4$$

$$LIC = 4,3 - 3 \sqrt{4,3\ (1 - 0,043)} = -1,8 \quad \therefore \ LIC = 0$$



9. PRÉ-CONTROLE

O pré-controle é um algoritmo simples para controlar um processo baseado nos limites de tolerância (não limites de controle). Zonas de atenção são designadas dentro da faixa de tolerância.



Linhas de Pré-Controle para tolerância bilateral

Um novo processo (nova preparação, matéria-prima, operador, etc.) é qualificado tomando-se amostras consecutivas de indivíduos até que cinco sucessivas caiam dentro da zona central (que não exige atenção). É isto que dá a segurança de que a distribuição é limitada o suficiente e próxima o bastante do centro para produzir um produto dentro da tolerância.

Uma vez qualificado o processo, ele é monitorado pela coleta de amostras periódicas consistindo em dois indivíduos cada (chamado A, B). Este pequeno tamanho de subgrupo e a informação imediata que ele proporciona diretamente ao operador do processo, constitui um ciclo de feedback muito rápido. Toma-se uma atitude somente se ambos, A e B, estiverem na zona de atenção.

O poder estatístico do Pré-Controle reside na regra do produto de probabilidades independentes: P (A,B) = P (A) x P (B). Assim, o risco de um sinal falso é brutalmente reduzido pelo uso de uma amostra de tamanho dois. O tamanho da amostra (dois) é um meio-termo entre a diminuição do risco de um sinal falso e a longa espera para a tomada de decisão. A extensão das zonas de atenção é um meio termo entre a sensibilidade e a oscilação. A freqüência de amostragem é um meio termo entre o custo e o esforço de amostras mais freqüentes e o risco de produzir itens fora da tolerância. A freqüência de 25 pares A, B entre ajustes usuais de processo assegura uma média de produção fora de tolerância de 1%, ou menos.

A maioria dos processos exige ajustes periódicos para permanecer dentro das especificações. Uma experiência subseqüente mostrou que a freqüência normalmente recomendada de seis pares A,B entre os ajustes é suficiente para garantir que praticamente não haja nenhum item fora de tolerância.

9.1 Exigências para uso

O pré-controle é eficiente para qualquer processo em que o operador pode medir a característica de qualidade de interesse (dimensão, peso, resistência, etc.). É possível, então, ajustar o processo para mudar dada característica e fazer com que ele tenha ou um resultado contínuo (por exemplo, papel) ou um resultado discreto (por exemplo, peças de uma máquina).

Não há exigências adicionais e não há suposições básicas em relação à aptidão do processo ou à distribuição de freqüência da característica de qualidade. Isto quer dizer que a população de indivíduos não precisa ser normal e o processo não precisa estar sob controle estatístico.

9.2 Riscos ou erros

O risco α é o risco de um alarme falso numa condição operacional normal.
O risco β é o risco de não se detectar uma mudança indesejável do processo.

Exemplo 1: análise clínica

<table>
<tr><td></td><td></td><td colspan="2">REALIDADE</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>NÃO DOENTE</td><td>DOENTE</td></tr>
<tr><td rowspan="2">DECISÃO
(PELO RESULTADO DA ANÁLISE)</td><td>NEGATIVO
(NÃO DOENTE)</td><td>CONFIANÇA
(1 – α)</td><td>RISCO TIPO 2
(β)</td></tr>
<tr><td>POSITIVO (DOENTE)</td><td>RISCO TIPO 2
(α)</td><td>AÇÃO
(1 – β)</td></tr>
</table>

O exemplo acima, de fácil compreensão, é a análise clinica de amostra de sangue, por um laboratório, no caso de suspeita de doença.

Há quatro possibilidades:

1) Realidade**: pessoa não doente**
Resultado da análise: **negativo**
Neste caso temos um resultado esperado que chamamos de **“CONFIANÇA”.**

2)) Realidade: **pessoa não doente**
Resultado da análise: **positivo**

Neste caso o laboratório cometeu um erro **α** , que é um alarme falso.

3)) Realidade: **pessoa doente**
Resultado da análise: **positivo**
Neste caso também temos um resultado esperado que chamamos de **“AÇÃO”,** porque exige uma ação (remédio, por exemplo)

4)) Realidade: **pessoa doente**
Resultado da análise: **negativo**
Neste caso o laboratório cometeu um erro **β** , que é não indicar a doença existente

Exemplo 2: Gráficos ou cartas de pré-controle

		REALIDADE	
		PROCESSO EM CONTROLE	**PROCESSO FORA DE CONTROLE**
DECISÃO (pelas evidências no gráfico)	**EM CONTROLE**	**CONFIANÇA (1 – α)**	**RISCO TIPO 2 (β)**
	FORA DE CONTROLE	**RISCO TIPO 2 (α)**	**AÇÃO (1 – β)**

As cartas de pré-controle devem indicar o que acontece com o respectivo processo. Mas, também existem os riscos **α** e **β .**
O tópico dos riscos **α** e **β** está neste assunto das cartas de pré-controle do processo, mas este conceito pode também ser aplicado para qualquer carta de controle.
Gráfico de Pré-controle:
Quando no gráfico de pré-controle as duas medições estiverem na faixa amarela (sinal amarelo duplo) o processo deve ser ajustado. Mas, existe certa probabilidade, que depende do processo, de se obter este sinal amarelo duplo, sem que o processo tenha saído fora de controle (mudança indesejável). Temos, neste caso, um erro do tipo **α (alarme falso).**
Por outro lado, quando na realidade o processo sofreu uma mudança indesejável, que gostaríamos que fosse detectada pela carta de pré-controle através de um sinal amarelo duplo, existe certa probabilidade, que depende do nível da mudança indesejável, de não se obter o sinal amarelo duplo. Temos então um erro do tipo **β,** ou seja, na realidade, o processo deve ser ajustado mas a carta de pré-controle não evidencia isto.
Gráfico de Controle:
No gráfico de controle uma condição de “Ação” pode ser detectada por vários critérios:

a) Ponto fora de limite de controle
b) Corrida

c) Tendência
d) Outros (ver testes de Nelson)

Pelo critério "Ponto fora de limite de controle" a probabilidade de acontecer o erro **α** nos gráficos de controle (com os limites de controle em LC +/- 3,0 **σ)** é de 0,135% para cada limite de controle (total de 0,27%), ou seja, há 0,135% de probabilidade de um ponto do processo estar além de um determinado limite de controle com um processo "bom" (sem mudança indesejável).

9.3 Comparação dos gráficos $\overline{X}$ e R, e pré-controle

Esta comparação é apresentada na tabela que segue:

Comparação do Gráfico do Controle e o Pré-Controle

Item	Gráficos $\overline{X}$ e R	Pré-Controle
Finalidade	Descobrir a proporção da variação motivada por causas "aleatórias" e determináveis	Evitar fabricação de peças não conforme
Regras de decisão	Subgrupo $\overline{X}$ além do limite de controle	2 amarelos consecutivos
Tamanho do Subgrupo	$\geq$ 2, geralmente 4 ou 5	Sempre 2
Qualificar um processo	Tomar 25 subgrupos, calcular limites de controle, demonstrar estado de controle estatístico	Produção de 5 verdes sucessivos
Efeito de um indivíduo fora de tolerância num subgrupo	Isto geralmente é detectado através do gráfico R ou s	Fora da tolerância é vermelho; portanto, pare

10. CAPABILIDADE DO PROCESSO

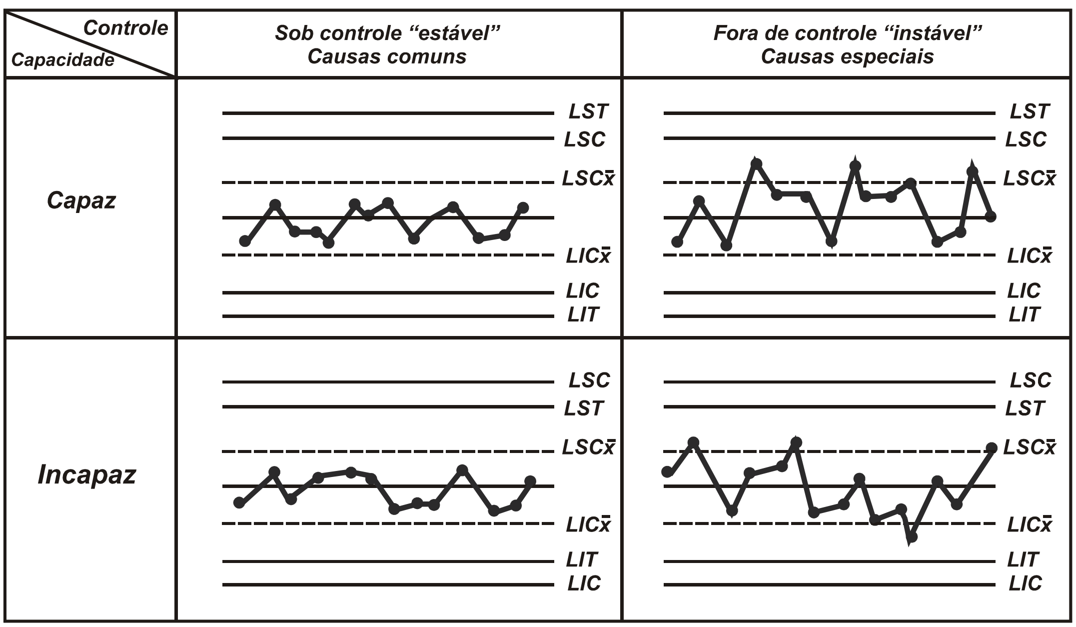
Capabilidade vem do inglês “capability”. Significa capacidade qualitativa.

Para determinar a Cababilidade de Processo, é necessário que o processo esteja sob controle estatístico, ou seja, sujeito apenas às variações aleatórias (causas comuns).

Verificada esta condição, avaliamos, então, a capabilidade do processo de fabricação de cumprir as exigências qualitativas impostas a ele a longo prazo.

Vale lembrar que o processo de fabricação como um todo, é composto por Máquina, Meio de Medição, Matéria-Prima, Mão de Obra, Meio Ambiente e Método e que todos devem estar sob controle.

11.1 Controle X Capacidade



Observando a folga entre limites naturais e a especificação (tolerância) podemos avaliar se o processo é ou não capaz e sob controle (estável).

a) Caso 1 – Processo sob controle e capaz

Não há pontos fora dos limites de controle;
Limites de controle dentro dos limites de tolerância.

Ações Recomendadas:

Deixar como está, é mais econômico;
Utilizar controle X’-R ou X’-S ou pré-controle.

b) Caso 2 – Processo sob controle, mas incapaz

Variações devido a causas comuns (aleatórias) dentro dos limites de controle;
Limites de controle fora dos limites de tolerância.
Ações Requeridas:
Estudo das fontes/razões das variações;
Novas máquinas/ métodos/ materiais/ treinamento/ etc.;
Revisão das especificações;
Investigar alternativa para uso das peças não conforme.

c) Caso 3 – Processo capaz, mas fora de controle

Limites de controle dentro dos limites de tolerância;
Processo instável;
Variações fora dos limites de controle devido a causas especiais (fatores casuais);
As causas das variações estão dentro do processo.
Ações Requeridas:
Investigar causas especiais e eliminá-las;
Utilizar condições especiais de trabalho enquanto o processo estiver fora de controle.

d) Caso 4 – Processo incapaz e fora de controle

Verdadeiro causador de problemas e perdas;
Somatório das características dos casos 2 e 3.
Ações requeridas:
Ação gerencial na condição de estudos, análise e solução de problemas.
Analisar e eliminar, através de técnicas de análise e solução de problemas, as variações devido às causas especiais e comuns(aleatórios).

10.2 Definição de Cp e Cpk (Índices de Capabilidade)

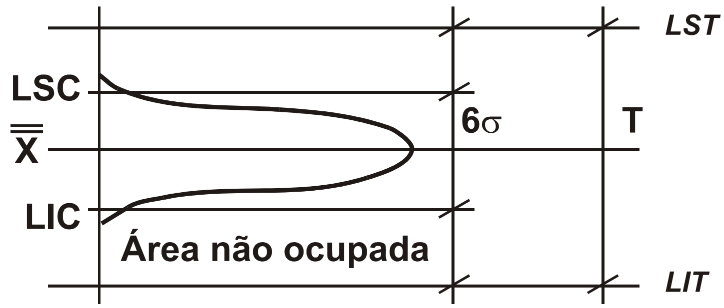
Cp

Considera o comportamento da dispersão dos valores medidos em relação a tolerância.

$$Cp = \frac{T}{6 \cdot \sigma}$$

onde; T=tolerância; σ = valor estimado para o desvio padrão.

Sendo que o resultado deve ser, pelos padrões adotados, maior que 1,33, que quer dizer que o processo está com 33% de área não ocupada pela dispersão dos dados. Veja gráfico abaixo:



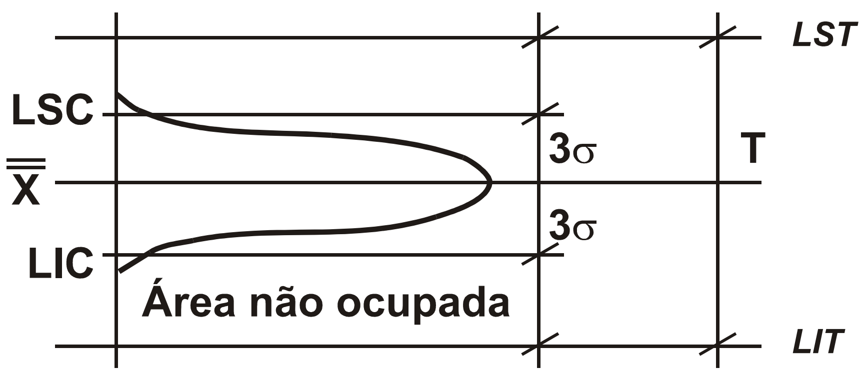
Cpk

Considera, além do comportamento da dispersão dos valores medidos, a sua posição dentro da tolerância.

$$Cpk = \frac{LST - \bar{\bar{X}}}{3 \,.\, \sigma} \quad ou \quad Cpk = \frac{\bar{\bar{X}} - LIT}{3 \,.\, \sigma}$$

Observações: O menor dos resultados de Cpk é válido. Se o Cpk for menor que o respectivo Cp, o processo não está centrado.

Sendo que o resultado deve ser, pelos padrões adotados, maior que 1,33, que quer dizer que o processo está com 33% de área, de um dos lados, não ocupada pela dispersão dos dados. Veja gráfico abaixo:



No cálculo de Cpk para processos com valor de característica limitada em zero, considera-se apenas:

$$Cpk = \frac{LST - \bar{\bar{X}}}{3 \,.\, \sigma} \geq 1{,}33$$

No cálculo de Cpk para processos com valor de característica com limite sueperior de tolerância ∞ (infinito) considera-se apenas:

$$Cpk = \frac{\bar{\bar{X}} - LIT}{3 \,.\, \sigma} \geq 1{,}33$$

10.3 Verificação da Capabilidade do Processo

a) Diferente da capabilidade máquina, a coleta de amostras para capabilidade de processo deve concluir todas as variações normais do processo sendo que estas devem estar sob controle;

b) Todas as ocorrências, causas e providências tomadas durante a coleta das amostras deverão ser anotados num relatório de ocorrências;

c) São tomadas 25 amostras de 5 unidades, normalmente, em intervalos periódicos;

d) Vale ressaltar a importância de utilização de um meio de medição qualificado e capaz;

e) Também, é necessário que o operador esteja habilitado a operar a máquina, verificar o processo e utilizar o meio de medição;

f) Da mesma forma, deve-se observar, que se as peças a medir são sujas, mal acondicionadas ou até deformadas e com muitos desvios de forma, o resultado não será real.

11. *ANÁLISE DA CAPABILIDADE DE MÁQUINA*

Na utilização de um equipamento fabril deve ser verificado antes, se as características de um componente a ser produzido possam ser fabricados seguramente.

O objetivo de uma análise de capabilidade de máquina é verificar:

- se ela produz com regularidade
- se ela pode ou não produzir as características dentro de tolerâncias pré-estabelecidas.

A análise de capabilidade de máquina é um exame de **curto prazo**, para poder verificar se há influências, condicionadas à máquina, sobre o processo de fabricação. Indica o grau de dispersão da distribuição populacional das peças fabricadas pela máquina, em relação a tolerância.

O método estatístico, aqui apresentado, para verificação da capabilidade de máquina é relacionado a características de peças produzidas em grande escala.

11.1 Definições de Cm e Cmk

Cm

Fornece a dimensão da ocupação da tolerância pré-estabelecida pela dispersão dos valores medidos.

$$Cm = \frac{T}{6.\sigma} \quad \text{onde} \quad \begin{array}{l} T = \text{faixa de tolerância} \\ \sigma = \text{Desvio Padrão} \end{array}$$

Valor de referência Cm ≥ 1,66

Observação: O cálculo do índice “Cm” é somente conveniente em processos monitoráveis.

Cmk

Considera em relação ao índice Cm, ainda a posição da média dentro do campo de tolerância.

$$Cmk = \frac{LST - \overline{X}}{3 \cdot \sigma} \quad ou \quad Cmk = \frac{\overline{X} - LIT}{3 \cdot \sigma}$$

Valor de referência Cmk $\geq$ ***1,66***

Observação: O menor dos dois valores é considerado na avaliação. O cálculo do índice “Cmk” é conveniente, para processos monitoráveis e não monitoráveis .

Planejamento da análise

a) Escolha das características a avaliar

É decisivo para o resultado.
A classificação deve ser nas seguintes propriedades:

- especificações de clientes (cliente).
- funções críticas (Engenharia).
- operações de fabricação críticas (Planejamento Técnico).
- exames críticos (Segurança de Qualidade).
- dependências recíprocas, examinar a mais importante.
- influência ao processo posterior.

b) Documentação dos Parâmetros

As condições secundárias (dados de regulagem da máquina, do processo e ambientais) relacionáveis ao resultado devem ser sempre comprováveis e para isso anotadas no formulário.

c) Amostra

Conforme o processo são tomadas 50 peças (ideal 100 ou até mais).

d) Retirada de amostras

- Para a retirada de amostras, a máquina deverá estar em ciclo normal de produção, devidamente aquecida e estabilizada.
- Produzir 100 peças em seqüencia direta.
- Não são permitidos quaisquer tipos de ajustes e interrupções durante a retirada das amostras.
- Não são permitidas mudanças (ferramental, mão de obra, material, método ou local) durante a retirada das amostras.
- As peças devem ser numeradas na seqüencia de produção.

e) Exame das amostras

- O examinador deve ser treinado e conhecer o meio de medição.

- O meio de medição deverá estar analisado e aprovado quanto a sua capacidade e estabilidade (anexar documento comprobatório).

f) Avaliação de regularidade

Anotar os valores na seqüencia das peças em grupos de 5 na tabela.

g)Gráfico dos valores individuais

- Marcar os pontos dos valores individuais na respectiva carta.
- Unir os pontos dos valores individuais.
- Verificar se a carta dos valores individuais demonstra uma distribuição regular ou sem regularidade (caótica).
- Se a distribuição for desordenada, uma avaliação estatística é impossível; a máquina é incapaz.

Nota:

Providências corretivas devem ser tomadas e depois iniciada nova análise.
Não ocorrendo nenhuma melhoria, a máquina é incapaz.
Quando identificável uma tendência, providências para sua eliminação ou minimização das causas devem ser tomadas e a análise deve ser repetida.
Para processos com tendência, bem como não monitoráveis, devem ser aplicados outros métodos de cálculo.

h) Gráfico de “$\overline{X}$” e “S”

Calcular “$\overline{X}$” e “S” para cada grupo de 5 medidas.
Marcar os pontos nas cartas “$\overline{X}$” e “S”.
Observar a variação do registro gráfico das cartas “$\overline{X}$” e “S”. Ela deve ser contínua e isenta de influências sistemáticas.

Nota: Uma tendência se apresenta muitas vezes mais nítida na carta “$\overline{X}$” do que na carta de valores individuais.

i) Determinação da Estabilidade

- Calcular o limite inferior de controle (LIC) e o limite superior de controle (LSC) para as médias “$\overline{X}$” e desvio padrão “S”.
- Marcar com retas nas cartas “$\overline{X}$” e “S” os limites calculados acima.
- As médias da amostra podem ser consideradas estáveis quando não ultrapassarem os limites de controle (LIC e LSC)
- Se o maior desvio padrão (S máx) verificado dos grupos de 5 peças for menor que o LSC, para desvios padrões; então, os desvios padrões podem ser considerados estáveis.

- Quando detectadas e eliminadas as causas, a análise de capacidade de máquina deve ser repetida desde o início.

j) Cálculo dos índices da capabilidade (Cm; Cmk)

- Depois da confirmação da estabilidade dos valores medidos deve ser verificado o índice da capabilidade.
- O índice “Cm” fornece a dimensão da ocupação da tolerância preestabelecida pela dispersão dos valores medidos.
- O índice “Cmk” considera em relação ao índice “Cm”, ainda a posição da média dentro do campo de tolerância.

11.2 Processos com tendência natural

Por exemplo, reafiação, troca de ferramentas após poucas operações.

O cálculo dos índices Cm e Cmk não é indicado.

A capacidade é obtida quando todas as características da amostra se encontram dentro de uma faixa de amplitude de 0,6 x Tolerância (campo de 60%). Isto significa um Cmk $\geqslant$ 1,67.

Caso especial: Características limitadas em zero.

Válido um campo de 0,6.T(campo de 60%) que parte da linha zero.

Nota: Devem ser documentadas as causas da tendência natural.

12. CAPABILIDADE DOS MEIOS DE MEDIÇÃO

12.1 Avaliação do sistema de medição

Para que as leituras obtidas através do meio de medição sejam verdadeiras e significativas, é necessário que os valores encontrados sejam reais e tenham a exatidão adequada.

O equipamento de medição deve ser capaz de medir frações iguais ou menores que um décimo(1/10) da tolerância.

É preciso, também certificar-se de que o meio de medição esteja perfeitamente calibrado e aferido conforme normas vigentes e após, devemos controlar a repetibilidade e reprodutibilidade do meio de medição.

Toda medição, através de equipamentos está sujeita a variações. Há necessidade de coletarmos dados do instrumento usado, para sabermos se ele é exato e estável.

As variações podem ser periódicas (desgaste, deterioração ou condições ambientais) ou aleatórias (construção, mecanismo, engrenagens, alavancas, etc.).

Os fatores (exatidão, repetibilidade, reprodutibilidade, estabilidade, e linearidade) influenciam diretamente no desempenho do meio de medição.

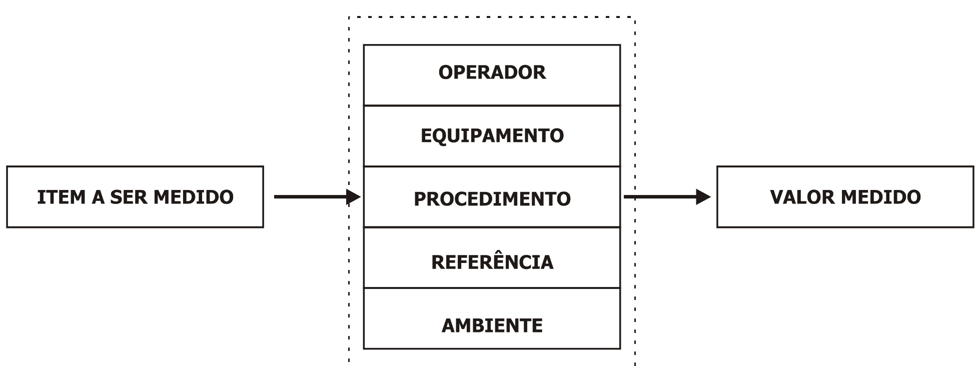
Algumas técnicas estatísticas auxiliam na avaliação desses fatores.

Sistema de Medição

Esta primeira etapa, anterior à análise de estabilidade do processo, reflete bem a preocupação com a medição. Não adianta tomar ações em cima de informações que não são verdadeiras.

O ato de colher medidas de determinadas características do processo/produto pode e deve ser encarado agora sob a concepção de uma nova etapa do processo produtivo.

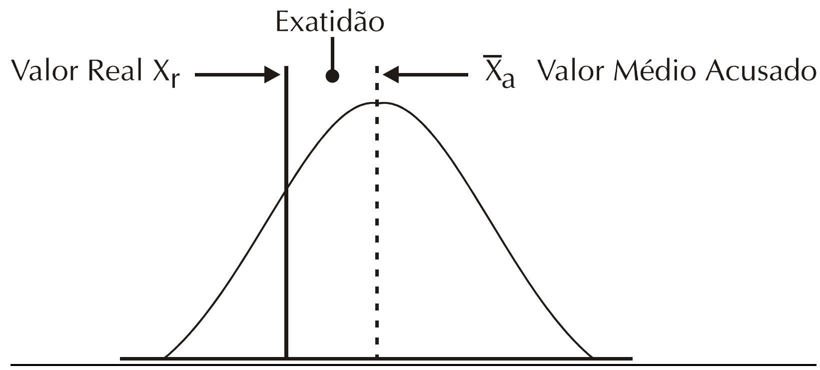
Esta etapa a qual estamos nos referindo chama-se Sistema de Medição e tem por objetivo analisar todos os fatores que possam influenciar o Processo de Medição.



Ilustrações de variação de medição

a) Exatidão

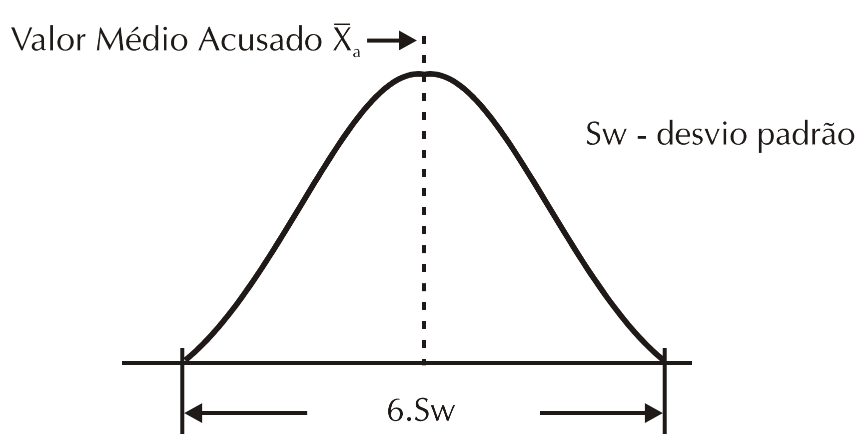
É a diferença entre a média das medições, repetidas da mesma característica e o valor real desta característica (verdadeira medida).
Importa notar que o valor se refere a um padrão e à peça de ajustagem cadastrados no controle periódico dos meios.



b) Repetibilidade

Resultados de medições verificados sob as seguintes condições:

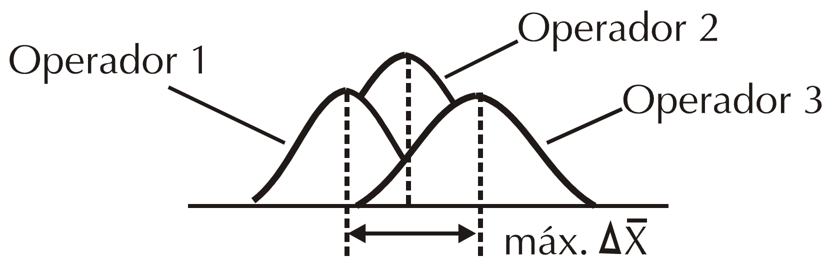
- medições repetidas em pequenos intervalos
- processo de medição definido
- mesma peça
- mesma posição da peça
- mesmo operador (avaliador)
- mesmo meio de medição
- mesmo lugar (laboratório, seção da fábrica)



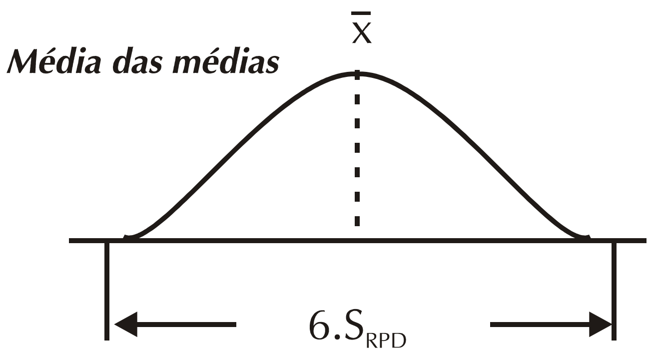
c) Reprodutibilidade

Resultados de medições sob as seguintes condições:

- processo de medição definido
- mesma peça
- diferentes operadores
- diferentes locais (laboratórios, seção da fábrica)



Distribuição das médias dos operadores 1...3



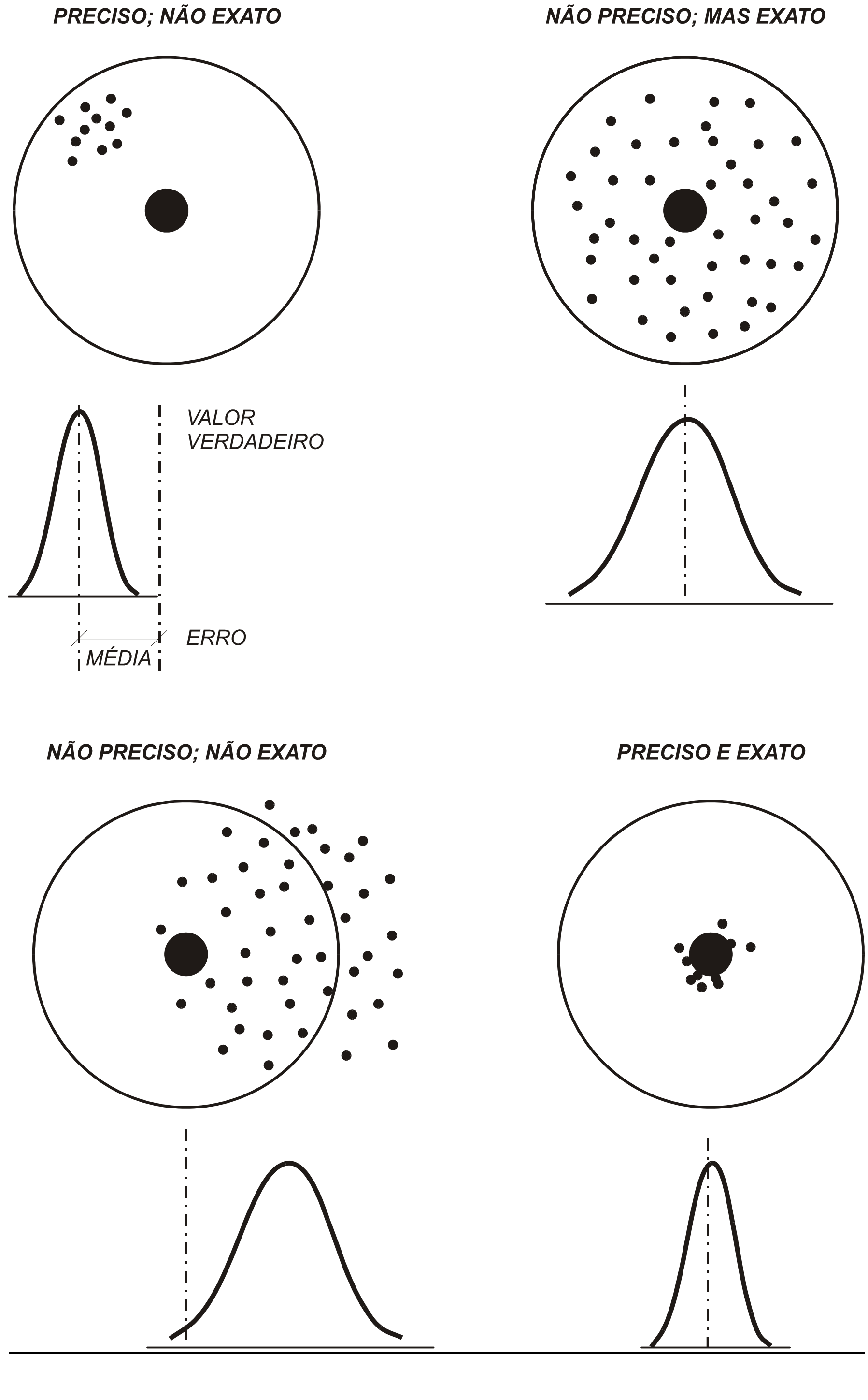
S_{RPD} = desvio padrão da Reprodutibilidade

d) Precisão

Verificam-se as divergências dos valores reais em um certo período e sob as seguintes
condições:

- processo de medição definido
- mesmo meio de medição
- mesmo padrão
- mesmo lugar (avaliador)

Exatidão x Precisão: analogia com um alvo
Observação: conceito válido também para processos.



Obs.: O alvo corresponde ao valor verdadeiro.

12.2 Análise de capabilidade dos meios de medição

As condições de análise e aprovação dos meios de medição devem ser definidas junto com o fabricante (fornecedor).

Meios de medição inadequados apresentam valores incorretos na avaliação de um processo, de uma máquina ou de peças.

Condições preliminares para análise de capabilidade

- Uma única grandeza física deve ser medida (direta, de preferência).
- Padrão e peças não devem alterar-se durante a medição (necessário objetos homogêneos para a medição).

Restrições para análise de capabilidade

São duas as restrições: a medição de uma grandeza física como função de outras grandezas e a medição de várias grandezas físicas.

Execução das análises de capabilidade

A execução das análises de capabilidade deve seguir rigorosamente a preparação, coleta de dados, análise matemática e gráfica de cada um dos métodos estatísticos que serão apresentas na seqüência.

É importante que você observe a ordem com que as análises de capabilidade serão apresentadas.

Método 1 – Determinação dos Índices de capabilidade (Cgm e Cgmk)

A análise de capabilidade de meios de medição é obtida através de medições repetidas com um padrão calibrado no local de uso do meio através de um operador qualificado.

O que deve ser observado?

É recomendado que o valor nominal do padrão esteja dentro do campo de operação do meio de medição e, de preferência, deve ser fixado no centro de tolerância da característica.

Os resultados da análise são expressos pelos índices Cgm e Cgmk (Capability Gauge Measurement).

Cgm: índice de capabilidade do meio de medição, que indica qual a faixa ocupada pela dispersão em exatamente 20% da tolerância .

Ideal : Cgm >/= 1,33

$$Cgm = \frac{0,2T}{6\,Sw} = \frac{0,2\,(LST - LIT)}{6\,Sw}$$

Cgmk: indica a posição da média observada nas medições em relação ao valor real do padrão, associada à dispersão das medições.

Ideal: Cgmk ≡ Cgm >/= 1,33

$$Cgmk = \frac{0{,}1\ T - |(Xr - \overline{X}a)|}{3\ Sw}$$

Preparação

Os passos da preparação são sete:

- observar nos relógios comparadores ou outros mostradores (sujeira, ponteiro torto ou preso, etc.);
- a menor divisão do mostrador deve ser igual ou menor que 5% da tolerância examinada;
- revisar e limpar o meio de medição, principalmente as partes móveis;
- identificar a posição de medição;
- esclarecer ao operador o propósito do evento;
- se necessário, treinar o operador antes de iniciar as medições;
- regular e ajustar.

Execução

O que fazer durante a execução?

- devem ser realizadas 50 medições na mesma peça ou padrão utilizado;
- medir sempre o mesmo ponto e posição da peça ou padrão utilizado;
- as medições devem ser feitas pelo mesmo operador, no local definitivo do meio de medição;
- não ajustar/regular durante as medições/análise;
- os valores devem ser anotados em formulário apropriado, em grupos de n=5;
- calcular as médias $\overline{X}$ e desvio padrão s de cada grupo.

Avaliação Básica

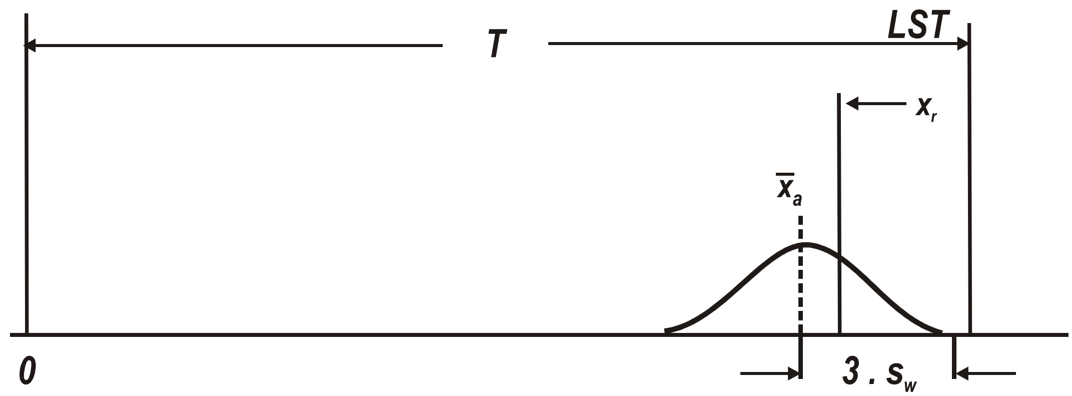
O Sw é estimado através da fórmula

$$\hat{S}w = \frac{\overline{S}}{0{,}94}$$

Os índices de capabilidade Cgm e/ou Cgmk devem ser calculados com as fórmulas constantes no formulário com o nível de confiabilidade 99,7% (6 desvios padrão).

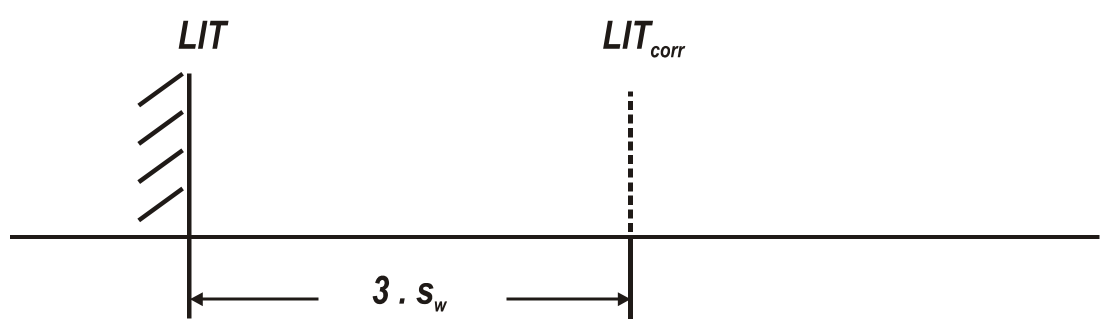
Características Limitadas em Zero

Para este caso, é oportuna somente a verificação do Cgmk através de uma análise no valor limite superior de tolerância (LST).



Características Limitada Unilateralmente

Quando especificado somente um valor mínimo (LIT), isto é, quando os valores medidos devem ser maiores, uma verificação de Cgm e Cgmk é impossível.
Para assegurar que não haja nenhuma característica abaixo do valor mínimo, deve-se considerar uma distância mínima do LIT de 3 (três) vezes o desvio encontrado.
O novo valor limite LIT Corr. Resulta de LIT+3.Sw:



Método 2 – Repetibilidade e reprodutibilidade (R&R)

Observe atentamente que antes da realização desta análise é necessário comprovar a capacidade Cgmk >/= 1,33 conforme Método 1.

Se o índice Cgmk verificado por >/= 1,33, então Você deve ainda fazer a verificação do R&R.

São as três razões mais importantes para a existência desse tipo de erro (repetibilidade e reprodutibilidade):

- falha no projeto do meio de medição;
- falha de treinamento adequado do operador;
- utilização não adequada do meio de medição.

Preparação

Na preparação, é preciso, então:

- observar os relógios comparadores e outros mostradores (sujeira, ponteiro preso ou torto, etc.).
- a menor divisão do mostrador deve ser igual ou menor que 5% da tolerância examinada.
- revisar e limpar o sistema de medição, principalmente as partes móveis.
- calibrar/ajustar o meio de medição conforme instruções.
- separar e numerar 10 (dez) peças quaisquer do tipo escolhido que possuam a característica a ser medida.

Nota: Se possível, separar peças cujas medidas da característica ocupem toda a faixa
entre LST e o LIT .

- Identificar a posição de medição em cada peça.
- Esclarecer aos operadores o propósito do evento.
- Os operadores devem ser aqueles que utilizam o meio de medição no seu dia a dia.
- Se necessário, treinar operadores antes de realizar as medições.

Execução

- Reajustagens durante a análise não são admitidas.
- Os resultados de cada operador não devem ser divulgados para os outros operadores.
- Todos os resultados das medições devem ser anotadas nas respectivas colunas do formulário apropriado.
- Utilizar, no mínimo, dois (2) operadores.
- Realizar duas ou três medições por operador.

- Entregar aleatoriamente as peças ao operador para evitar tendências ou memorizações.
- Se possível, fazer as medições em diferentes horários.
- Todas as medições devem ser feitas na mesma posição da peça (determinada anteriormente).
- Observar e anotar o comportamento dos avaliadores durante as medições.

Cálculos:

1. Calcular a amplitude R (diferença) entre a primeira e a segunda leitura de cada operador ou inspetor.
2. Calcular o desvio padrão S das amplitudes R de cada operador (S_A, S_B e S_C).
3. Calcular as médias $\overline{X}_1$ e $\overline{X}_2$ das leituras de cada operador.
4. Calcular a média das médias de cada operador

   $\left(\overline{\overline{X}}_A, \overline{\overline{X}}_B e \overline{\overline{X}}_c\right).$

5. Calcular o desvio padrão da Repetibilidade

   $S_{RPT} = \dfrac{S_A + S_B + S_C}{3\sqrt{2}}$ (para duas leituras por operador).

6. Calcular o desvio padrão da Reprodutibilidade que é o desvio padrão S entre as três médias das médias:

   S_{RPD} = desvio padrão entre $\overline{\overline{X}}_A$, $\overline{\overline{X}}_B$, $\overline{\overline{X}}_C$.

7. Calcular o desvio padrão total:

   $$S_T = \sqrt{S_{RPT}^2 + S_{RPD}^2}$$

8. Calcular o índice RR

   $$RR = \frac{6S_T}{T} x100(\%)$$

9. Avaliação do resultado:

0 – 20% – bom
20 – 30% – regular
maior que 30% – reprovado

CONSTRUÇÃO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE PARA VARIÁVEIS

INSTRUÇÕES:

1) Calcular para cada amostra:
   a) Gráfico $\overline{X}$, R: $\overline{X}$ e R
   b) Gráfico $\overline{X}$, S: $\overline{X}$ e S
   c) Gráfico $\tilde{X}$, R: $\tilde{X}$ e R
   d) Gráfico X, Rm: Rm

O Rm é a amplitude móvel entre dois valores consecutivos (entre o 1.º e o 2.º, entre o 2.º e o 3.º e, assim sucessivamente).

2) Calcular para cada gráfico:
   a) Gráfico $\overline{X}$, $\overline{R}$: $\overline{\overline{X}}$ e $\overline{R}$
   b) Gráfico $\overline{X}$, S: $\overline{\overline{X}}$ e $\overline{s}$
   c) Gráfico $\tilde{X}$, R: $\overline{\tilde{X}}$ e $\overline{R}$
   d) Gráfico X, Rm: $\overline{X}$ e $\overline{R}$m
   e) Cuidado: quando os valores são agrupados dois a dois, $\overline{R}m = \dfrac{\sum R_i}{N-1}$

3) Calcular para cada gráfico os limites de controle, conforme as fórmulas dos ANEXOS I e II. Usar o n da tabela conforme o número de elementos de cada amostra. Para o gráfico X, Rm usar n = 2 no caso de agrupamento 2 a 2.

   Cuidado: Usar a tabela específica para cada tipo de gráfico de controle.

4) Anotar os valores das médias e dos limites de controle nos campos que ficam no canto superior esquerdo de cada gráfico.

5) Escolher uma escala adequada para cada gráfico. Os valores inteiros devem coincidir com as linhas grossas do gráfico. Escolher escala adequada significa colocar os limites de controle perto das laterais do gráfico sem contudo ultrapassá-las.

6) Traçar as linhas das médias e dos limites de controle.

7) Plotar os pontos nos gráficos.

No caso do gráfico das medianas ($\widetilde{X}$, R) todos os valores devem ser plotados. Circundar depois o ponto da mediana, que é o ponto do meio (quando n é ímpar).

8) Unir os pontos de cada gráfico.

9) Analisar os gráficos.

10) Calcular o desvio padrão estimado $\hat{\sigma}$ da população (produção).

    Observação: como a primeira etapa do CEP é colocar o processo sob controle estatístico (eliminação das causas especiais de variação), que significa pelo menos 25 amostras consecutivas em controle, deve-se calcular o σ apenas quando o processo estiver sob este controle, na prática.

11) Calcular os índices de capabilidade C_p e C_{pk}.

    Observação: somente é possível calcular os índices de capabilidade conhecendo-se as especificações de engenharia (limites de tolerância).

12) Calcular o percentual de peças não conforme (fora da faixa de tolerância).

ANEXO 1

TABELA DE FATORES E FÓRMULAS PARA CARTAS DE CONTROLE					FATORES E FÓRMULAS			
Carta $\overline{X}$ e R					**Carta $\overline{X}$ e S**			
Observações na Amostra	Carta das Médias ($\overline{X}$)	Carta das Amplitudes (R)			Carta das Médias ($\overline{X}$)	Carta dos desvios-padrão (S)		
	Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-Padrão	Fatores para Limites de Controle		Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-Padrão	Fatores para Limites de Controle	
n	A_2	d_2	D_3	D_4	A_3	c_4	B_3	B_4
2	1.880	1.128	-	3.267	2.659	0.7979	-	3.267
3	1.023	1.693	-	2.574	1.954	0.8862	-	2.568
4	0.729	2.059	-	2.282	1.628	0.9213	-	2.266
5	0.577	2.326	-	2.114	1.427	0.9400	-	2.089
6	0.483	2.534	-	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

$$LSC_{\overline{X}},\ LIC_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} \pm A_2\overline{R} \qquad LSC_{\overline{X}},\ LIC_{\overline{X}} = \overline{\overline{X}} \pm A_3\overline{S}$$

$$LSC_R = D_4\overline{R} \qquad LSC_S = B_4\overline{S}$$

$$LIC_R = D_3\overline{R} \qquad LIC_S = B_3\overline{S}$$

$$\hat{\sigma} = \overline{R}/d_2 \qquad \hat{\sigma} = \overline{S}/c_4$$

Extraído da publicação STM STP-15D, Manual on the Presentation of Data and Ccntrol Chart Analysis, 1976, pp.134-136.

ANEXO 2

TABELA DE FATORES E FÓRMULAS PARA CARTAS DE CONTROLE (cont.)					FATORES E FÓRMULAS			
Cartas de Medianas * / **					**Carta de Individuais ***			
Observações na Amostra	Carta das Medianas ($\widetilde{X}$)	Carta das Amplitudes (R)			Carta de Individuais (X)	Carta de Amplitudes (R)		
	Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-Padrão	Fatores para Limites de Controle		Fatores para Limites de Controle	Divisores para Estimativa do Desvio-Padrão	Fatores para Limites de Controle	
n	A_2	d_2	D_3	D_4	E_2	d_2	D_3	D_4
2	1.880	1.128	-	3.267	2.660	1.128	-	3.267
3	1.187	1.693	-	2.574	1.772	1.693	-	2.574
4	0.796	2.059	-	1.282	1.457	2.059	-	2.282
5	0.691	2.326	-	2.114	1.290	2.326	-	2.114
6	0.548	2.534	-	2.004	1.184	2.534	-	2.004
7	0.508	2.704	0.076	1.924	1.109	2.704	0.076	1.924
8	0.433	2.847	0.136	1.864	1.054	2.847	0.136	1.864
9	0.412	2.970	0.184	1.816	1.010	2,970	0.184	1.816
10	0.362	3.078	0.223	1.777	0.975	3.078	0.223	1.777

$$LSC_{\widetilde{X}},\ LIC_{\widetilde{X}} = \overline{\widetilde{X}} \pm \widetilde{A}_2\overline{R} \qquad LSC_X,\ LIC_X = \overline{X} \pm E_2\overline{R}$$

$$LSC_R = D_4\overline{R} \qquad LSC_R = D_4\overline{R}$$

$$LIC_R = D_3\overline{R} \qquad LIC_R = D_3\overline{R}$$

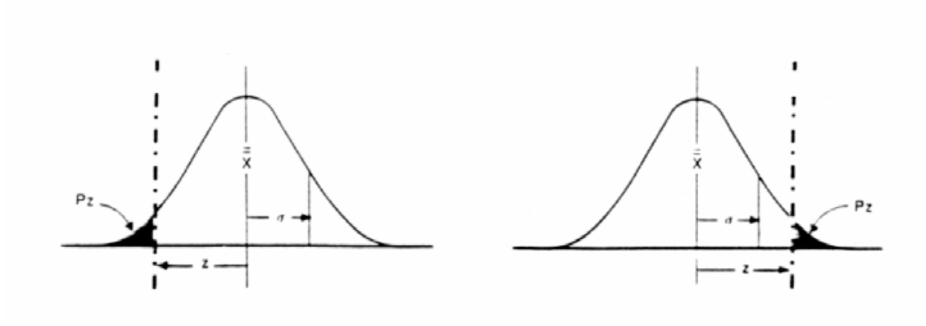
$$\hat{\sigma} = \overline{R}/d_2 \qquad \hat{\sigma} = \overline{R}/d_2$$

*** Da publicação ASTM STP-15D, Manual on the Presentation of Data and Ccntrol Chart Analysis, 1976, pp.134-136.**

** **A2 são fatores derivados da ASTM STP-15D, Data and Efficiency Tables contidas no Introduction to STATISTICAL Analysis de W.J. Dixon e F.J. Massey Jr. 3ª edição; p.488 – McGraw-Hill Book Company, NY.**

ANEXO 3

DISTRIBUIÇÃO NORMAL PADRÃO



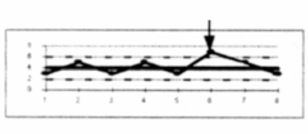
Pz= porcentagem do resultado do processo além de um limite único da especificação que está a z unidades de desvio padrão da média do processo (para um processo sob controle estatístico e normalmente distribuído). Por exemplo: z=2,17, Pz=0,0150 ou 1,5%.

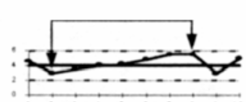
lzl		x.x0	x.x1	x.x2	x.x3	x.x4		x.x5	x.x6	x.x7	x.x8	x.x9
4.0		.00003										
3.9		.00005	.00005	.00004	.00004	.00004		.00004	.00004	.00004	.00003	.00003
3.8		.00007	.00007	.00007	.00006	.00006		.00006	.00006	.00005	.00005	.00005
3.7		.00011	.00010	.00010	.00010	.00009		.00009	.00008	.00008	.00008	.00008
3.6		.00016	.00015	.00015	.00014	.00014		.00013	.00013	.00012	.00012	.00011
3.5		.00023	.00022	.00022	.00021	.00020		.00019	.00019	.00018	.00017	.00017
3.4		.00034	.00032	.00031	.00030	.00029		.00028	.00027	.00026	.00025	.00024
3.3		.00048	.00047	.00045	.00043	.00042		.00040	.00039	.00038	.00036	.00035
3.2		.00069	.00066	.00064	.00062	.00060		.00058	.00056	.00054	.00052	.00050
3.1		.00097	.00094	.00090	.00087	.00084		.00082	.00079	.00076	.00074	.00071
3.0		.00135	.00131	.00126	.00122	.00118		.00114	.00111	.00107	.00104	.00100
2.9		.0019	.0018	.0018	.0017	.0016		.0016	.0015	.0015	.0014	.0014
2.8		.0026	.0025	.0024	.0023	.0023		.0022	.0021	.0021	.0020	.0019
2.7		.0035	.0034	.0033	.0032	.0031		.0030	.0029	.0028	.0027	.0026
2.6		.0047	.0045	.0044	.0043	.0041		.0040	.0039	.0038	.0037	.0036
2.5		.0062	.0060	.0059	.0057	.0055		.0054	.0052	.0051	.0049	.0048
2.4		.0082	.0080	.0078	.0075	.0073		.0071	.0069	.0068	.0066	.0064
2.3		.0107	.0104	.0102	.0099	.0096		.0094	.0091	.0089	.0087	.0084
2.2		.0139	.0136	.0132	.0129	.0125		.0122	.0119	.0116	.0113	.0110
2.1		.0179	.0174	.0170	.0166	.0162		.0158	.0154	.0150	.0146	.0143
2.0		.0228	.0222	.0217	.0212	.0207		.0202	.0197	.0192	.0188	.0183
1.9		.0287	.0281	.0274	.0268	.0262		.0256	.0250	.0244	.0239	.0233
1.8		.0359	.0351	.0344	.0336	.0329		.0322	.0314	.0307	.0301	.0294
1.7		.0446	.0436	.0427	.0418	.0409		.0401	.0392	.0384	.0375	.0367
1.6		.0548	.0537	.0526	.0516	.0505		.0495	.0485	.0475	.0465	.0455
1.5		.0668	.0655	.0643	.0630	.0618		.0606	.0594	.0582	.0571	.0559
1.4		.0808	.0793	.0778	.0764	.0749		.0735	.0721	.0708	.0694	.0681
1.3		.0968	.0951	.0934	.0918	.0901		.0885	.0869	.0853	.0838	.0823
1.2		.1151	.1131	.1112	.1093	.1075		.1056	.1038	.1020	.1003	.0985
1.1		.1357	.1335	.1314	.1292	.1271		.1251	.1230	.1210	.1190	.1170
1.0		.1587	.1562	.1539	.1515	.1492		.1469	.1446	.1423	.1401	.1379
0.9		.1841	.1814	.1788	.1762	.1736		.1711	.1685	.1660	.1635	.1611
0.8		.2119	.2090	.2061	.2033	.2005		.1977	.1949	.1922	.1894	.1867
0.7		.2420	.2389	.2358	.2327	.2297		.2266	.2236	.2206	.2177	.2148
0.6		.2743	.2709	.2676	.2643	.2611		.2578	.2546	.2514	.2483	.2451
0.5		.3085	.3050	.3015	.2981	.2946		.2912	.2877	.2843	.2810	.2776
0.4		.3446	.3409	.3372	.3336	.3300		.3264	.3228	.3192	.3156	.3121
0.3		.3821	.3783	.3745	.3707	.3669		.3632	.3594	.3557	.3520	.3483
0.2		.4207	.4168	.4129	.4090	.4052		.4013	.3974	.3936	.3897	.3859
0.1		.4602	.4562	.4522	.4483	.4443		.4404	.4364	.4325	.4286	.4247
0.0		.5000	.4960	.4920	.4880	.4840		.4801	.4761	.4721	.4681	.4641

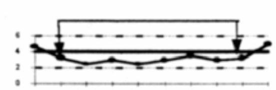
ANEXO 4

	CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO				APROVAÇÃO:	REVISÃO:
PEÇA Nº / NOME/ MODELO	DEPTO.	CARACTERÍSTICA	ALVO	MAQ. OU EQ. Nº MOD.	FREQÜÊNCIA	
X": LSC: LIC:			MÉDIAS			
R': LSC: LIC:			AMPLITUDES			

DATA																										
HORA																										
DADOS	1																									
	2																									
	3																									
	4																									
	5																									
X'																										
R																										
Operador																										
Caixa nº																										
Lote nº																										
RESULTADO																										
Dimensional																										
Visual																										







Legenda para o resultado: A=Aprovado; R= Reprovado

ANEXO 5

CARTA DE CONTROLE PARA ATRIBUTOS

FÁBRICA	p ☐ c ☐ np ☐ u ☐	PEÇA, NÚMERO E NOME
DEPARTAMENTO	OPERAÇÃO, NÚMERO E NOME	
Média = LSC = LIC =	DATA DOS LIMITES DE CONTROLE CALCULADOS	Tamanho Médio da Amostra: Freqüência:

Amostr (n)																										
Dsiscrepâncias	Número (np, c)																									
	Proporção (p, u)																									
Data (turno, hora, etc.)																										

QUALQUER MUDANÇA NO PESSOAL, EQUIPAMENTO, MATERIAIS, MÉTODOS, AMBIENTE, OU SISTEMAS DE MEDIÇÃO DEVE SER ANOTADA. ESTAS ANOTAÇÕES AJUDARÃO VOCÊ A TOMAR UMA AÇÃO CORRETIVA OU DE MELHORIA DO PROCESSO, CONFORME ASSINALADO PELA CARTA DE CONTROLE.

DATA	HORA	COMENTÁRIOS

LEMBRETE: Guia para seleção das cartas para atributos:

NÚMERO

(Simples, mas exige o tamanho da amostra constante).

PROPORÇÃO

(Mais complexa, contudo ajusta-se a uma proporção compreensível, e pode ser usada com o tamanho da amostra variável).

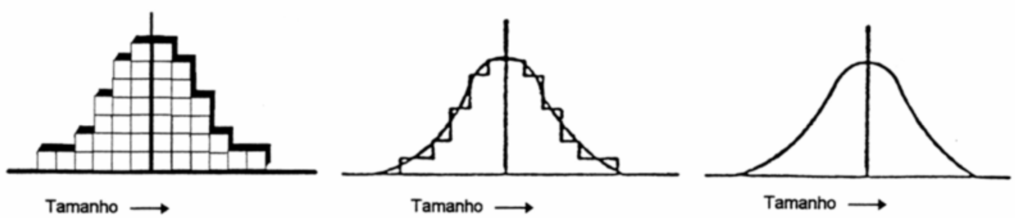
Itens não-conforme	Não-conformidades
np	c
p	u

ANEXO 6

VARIAÇÃO: CAUSAS COMUNS E ESPECIAIS

As peças variam entre si:

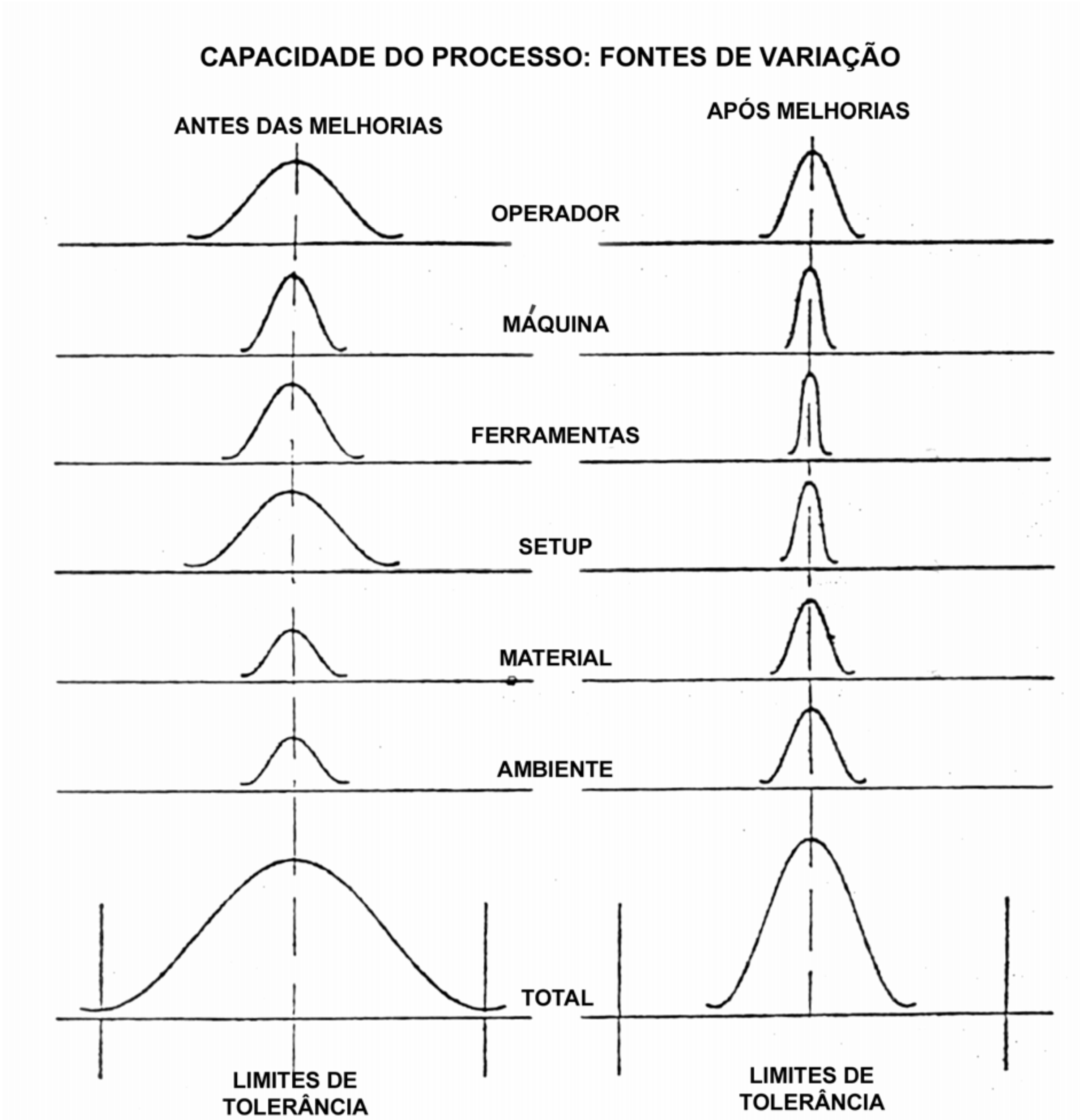
Mas, formam um padrão que, se estável, denomina-se distribuição:



As distribuições podem diferir quanto à:

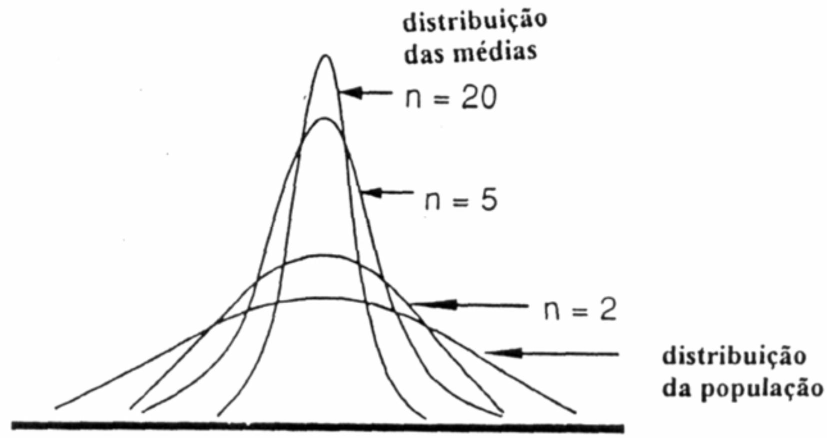
. . . Ou qualquer combinação destes itens.

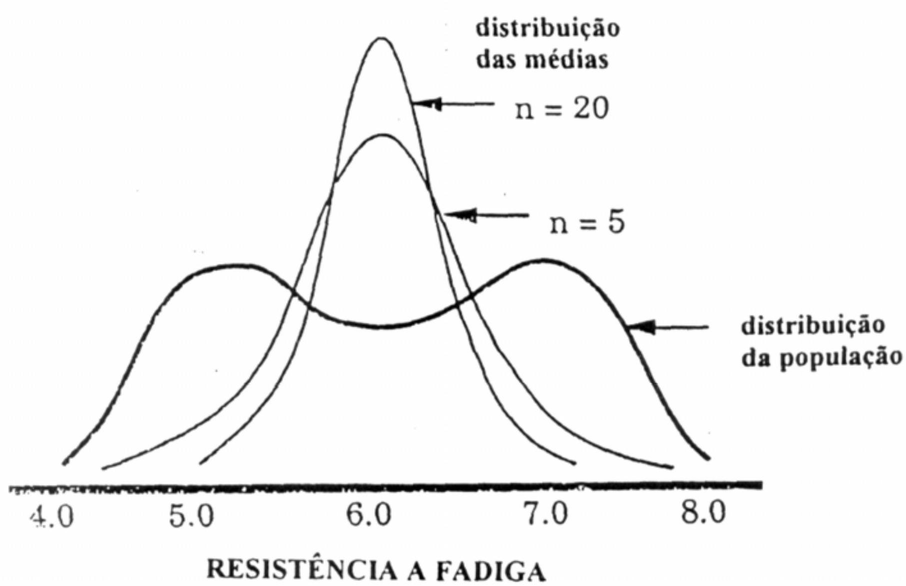
ANEXO 7


CAPACIDADE DO PROCESSO: FONTES DE VARIAÇÃO
ANTES DAS MELHORIAS
APÓS MELHORIAS
OPERADOR
MÁQUINA
FERRAMENTAS
SETUP
MATERIAL
AMBIENTE
TOTAL
LIMITES DE TOLERÂNCIA
LIMITES DE TOLERÂNCIA

ANEXO 8

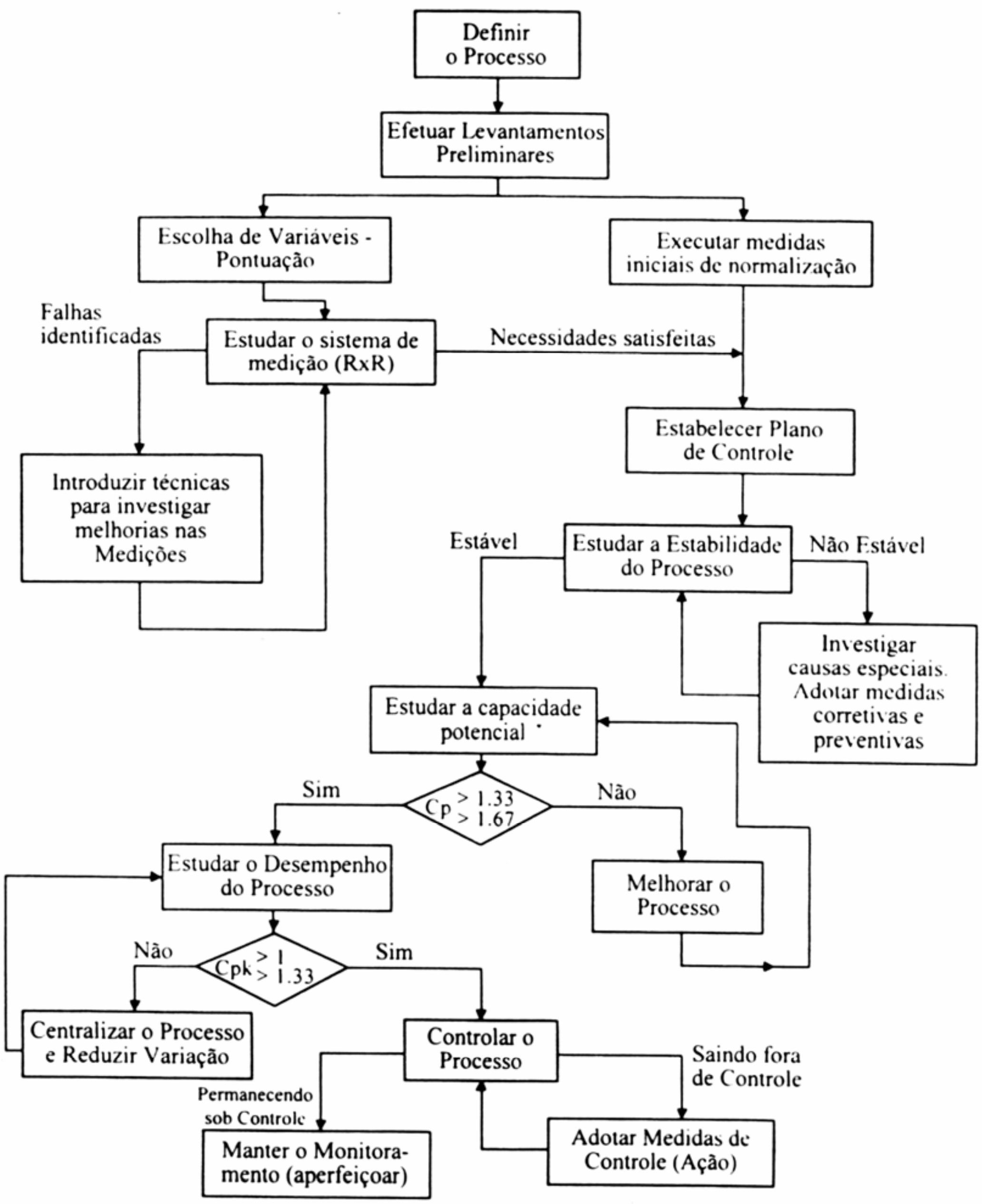
Distribuições das Médias de Amostras





ANEXO 9

ETAPAS DE IMPLEMENTAÇÃO DO CEP



ANEXO 10

DIÁRIO DE BORDO PARA CARTA DE CONTROLE

Todas as modificações de pessoas – ambiente – material máquina ou método devem ser anotados. Estas anotações lhe ajudarão nas ações corretivas assinaladas pela carta de controle.

DATA	HORA	COMENTÁRIO

ANEXO 11

REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE DE MEIOS DE MEDIÇÃO (RR)

EMPRESA:						**ÁREA:**					
EQUIPAMENTO:						**PRODUTO:**					
CARACTERÍSTICA:						**TOLERÂNCIA:**					
A	NOME:			B	NOME:			C	NOME:		
	PRIMEIRA LEITURA	SEGUNDA LEITURA	DIFERENÇA (R)		PRIMEIRA LEITURA	SEGUNDA LEITURA	DIFERENÇA (R)		PRIMEIRA LEITURA	SEGUNDA LEITURA	DIFERENÇA (R)
1				1				1			
2				2				2			
3				3				3			
4				4				4			
5				5				5			
6				6				6			
7				7				7			
8				8				8			
9				9				9			
10				10				10			
SOMA				SOMA				SOMA			
	$\overline{X}_{AI}$	$\overline{X}_{AII}$	S_A		$\overline{X}_{BI}$	$\overline{X}_{BII}$	S_B		$\overline{X}_{CI}$	$\overline{X}_{CII}$	S_C
MÉDIA				MÉDIA				MÉDIA			
A	$S_A =$ $\overline{\overline{X}}_A = \frac{\overline{X}_{A1}+\overline{X}_{A11}}{2} =$			B	$S_B =$ $\overline{\overline{X}}_B = \frac{\overline{X}_{B1}+\overline{X}_{B11}}{2} =$			C	$S_C =$ $\overline{\overline{X}}_C = \frac{\overline{X}_{C1}+\overline{X}_{C11}}{2} =$		

$$S_{RPT} = \frac{S_A + S_B + S_C}{3\sqrt{2}} =$$

$$S_{RPD} = desvio \quad padrão \quad entre \quad \overline{\overline{X}}_A, \overline{\overline{X}}_b \quad e \quad \overline{\overline{X}}_C =$$

$$S_T = \sqrt{S_{RPT}^2 + S_{RPD}^2} =$$

$$RR = \frac{6.S_T}{T} =$$

Exercício Resolvido N.º 1

1) Dados os números 16, 15, 13, 15, 17, 15, 13, 13, 12, 13, 18, 14, calcular:

a) A média:

$$\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} = \frac{16+15+13+15+17+15+13+13+12+13+18+14}{12}$$

$$\overline{X} = 14{,}5$$

b) **A mediana:** 12 13 13 13 13 <u>14 15</u> 15 15 16 17 18

n = 12 (n par)
X = (14 + 15) / 2 = 14,5

c) A amplitude:

$R = X_{máx} - X_{mín}$
R = 18 – 12 = 6

d) **O desvio padrão:**

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left(X_I - \overline{X}\right)^2}{n-1}} \qquad \text{(amostra)}$$

$$s = \sqrt{\frac{37{,}00}{12-1}} = 1{,}834$$

$$s = 1{,}834$$

X_i	$X_i - \overline{X}$	$(X_i - \overline{X})^2$
16	1,5	2,25
15	0,5	0,25
13	– 1,5	2,25
15	0,5	0,25
17	2,5	6,25
15	0,5	0,25
13	– 1,5	2,25
13	– 1,5	2,25
12	– 2,5	6,25
13	– 1,5	2,25
18	3,5	12,25
14	– 0,5	0,25
		37,00

Exercício Proposto N.º 1

Em uma amostra de cinco eixos foram obtidos os seguintes diâmetros em mm:
32 34 37 37 e 35

Calcular:

a) a média

b) a mediana

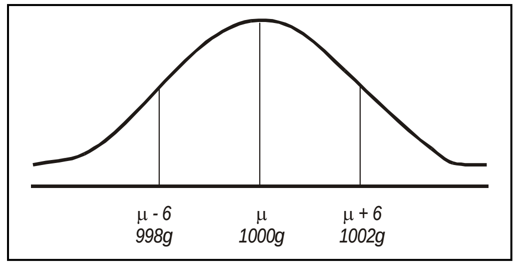
c) a amplitude

d) o desvio padrão

Exercício Resolvido N.º 2

Sabendo-se que o peso de pacotes de arroz segue uma distribuição normal, com média μ = 1000 g e desvio padrão σ = 2g, determinar:

a) % de pacotes com menos de 997 g.



$$Z_{abaixo} = \frac{LIT - \overline{X}}{\sigma}$$

$$Z_{abaixo} = \frac{997 - 1000}{2}$$

$$Z_{abaixo} = -1{,}5$$ (da tabela do anexo III)

$$P = 0{,}0668 \quad ou \quad 6{,}68\%$$

b) probabilidade de encontrar um pacote com mais de 1002 g.

$$Z_{alto} = \frac{\overline{X} - LST}{\sigma} = \frac{1000 - 1002}{2} = -1$$

$$Z = 1$$

P = 0,1587 ou 15,87% (da tabela do anexo III)

c) percentagem de pacotes com peso entre 996 e 1005 g.

$$Z_{baixo} = \frac{996 - 1000}{2}$$

$$Z_{baixo} = -2$$ anexo III

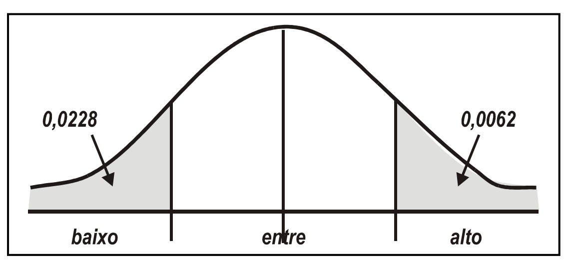
P = 0,0228

$$Z_{baixo} = \frac{1000 - 1005}{2}$$

$$Z_{baixo} = -2{,}5$$ anexo III

P = 0,062

Total = 1
entre = Total – P_{alto} – P_{baixo}
entre = 1 – 0,0228 – 0,0062
entre = 0,971 ou 97,1%



Exercício Resolvido N.º 3

Qual deverá ser o desvio padrão de um lote de eixos para que se tenha 98 % dos diâmetros entre 9,5 e 10,7 mm, sendo sua média 10,1 mm.

P_x = 98 % ou 0,98

Total = 1

X = 10,1 mm

0,98 = 1 – P_{x1} – P_{x2}

$$Z_1 = \frac{10{,}1 - 9{,}5}{\sigma} = \frac{0{,}6}{\sigma}$$

$$Z_2 = \frac{10{,}7 - 10{,}1}{\sigma} = \frac{0{,}6}{\sigma}$$

Como $Z_1 = Z_2$ / olha-se no anexo III qual Z tem P = 0,01.

P = 0,099 / Z = 2,33

Substituindo

$$\sigma = \frac{0{,}6}{2{,}33}$$

$$\sigma = 0{,}2575\text{mm}$$

Exercício Resolvido N.º 4

Qual deverá ser o desvio padrão da dureza de uma peça de aço para que se tenha 95 % das peças entre 58 e 62 R_C com média de 60 R_C ?

P = 95 % ou 0,95

Total = 1

X = 60 R_C

$0{,}95 = 1 - P_{x1} - P_{x2}$

$$Z_1 = \frac{60-58}{\sigma} = \frac{2}{\sigma}$$

$$Z_2 = \frac{62-60}{\sigma} = \frac{2}{\sigma}$$

Como $Z_1 = Z_2$ / olha-se no anexo III qual Z tem P = 0,025.
P = 0,025 / Z = 1,96

Substituindo

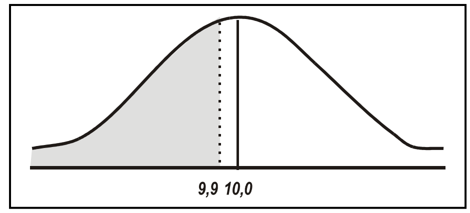
$$\sigma = \frac{2}{1{,}96}$$

σ = 1,02 Rc

Exercício Resolvido N.º 5

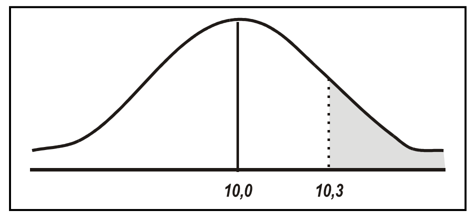
Sabendo-se que o diâmetro de um eixo segue uma distribuição normal, com média X = 10,0 mm e desvio padrão σ = 0,2 mm, determinar:

a) probabilidade de encontrar diâmetros abaixo de 9,9 mm.



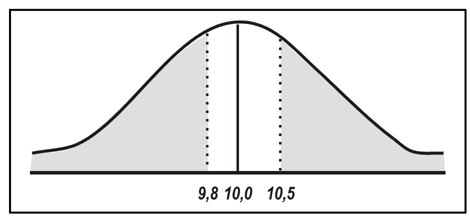
< 9,9	$z = \frac{9,9-10}{0,2}$	p/z = 0,5
	z = 0,5	Pz = 0,3085
		Pz = 30,85%

b) porcentagem de diâmetros acima de 10,3 mm.



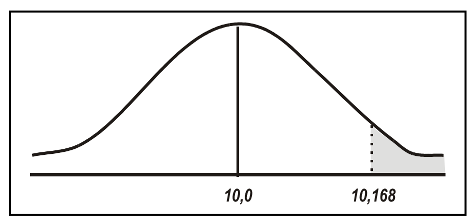
< 10,3	$z = \frac{10,3-10}{0,2}$	p/z = 1,5
	z = 1,5	Pz = 0,0668
		Pz = 6,68%

c) a porcentagem de diâmetros entre 9,8 e 10,5 mm.



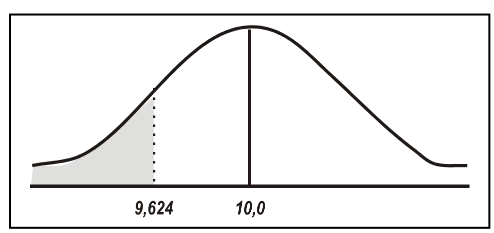
9,8 < x < 10,5	$z = \frac{9,8 - 10}{0,2}$	$z = \frac{10,5 - 10}{0,2}$
	z = 1	z = 2,5
	P_z = 0,1587	P_z = 0,0062
	P_z = 15,87 %	P_z = 0,62 %
	P = 100 – (15,87 +0,62)	
	P = 83,51%	

d) medida do diâmetro, acima do qual tem-se 20% dos eixos.



P = 20%	$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$
P = 0,20	$x = z\sigma + \mu$
z = 0,84	x = 10,168mm

e) a medida do diâmetro, abaixo do qual tem-se 3% dos eixos.



P = 3%	$z = \frac{\mu - x}{\sigma}$
P = 0,03	$x = \mu - z\sigma$
z = 1,88	x = 10 – 1,88 x 0,2
	x = 9,624mm

f) sendo os limites de tolerância 9,6 mm e 10,8 mm e o alvo 10,2 mm, quais são os índices de capabilidade Cp e Cpk ?

$Cp = \frac{LST - LIT}{6\sigma}$ $\qquad$ $Cpk1 = \frac{\mu - LIT}{3\sigma}$ $\qquad$ $Cpk2 = \frac{LST - \mu}{3\sigma}$

$Cp = \frac{10,8 - 9,6}{6,02}$ $\qquad$ $Cpk1 = \frac{10,0 - 9,6}{3.0,2}$ $\qquad$ $Cpk2 = \frac{10,8 - 10,0}{3.0,2}$

$Cp = 1$ $\qquad$ $Cpk1 = 0,667$ $\qquad$ $Cpk2 = 1,33$

g) se a média mudar para 10,2 mm, sem alteração do desvio padrão de 0,2 mm, quais são os novos índices Cp e Cpk ?

$Cp = 1$ $\qquad$ $Cpk1 = \frac{\mu - LIT}{3\sigma}$ $\qquad$ $Cpk2 = \frac{LST - \mu}{3\sigma}$

$Cpk1 = \frac{10,2 - 9,6}{3.0,2}$ $\qquad$ $Cpk2 = \frac{10,8 - 10,2}{3.0,2}$

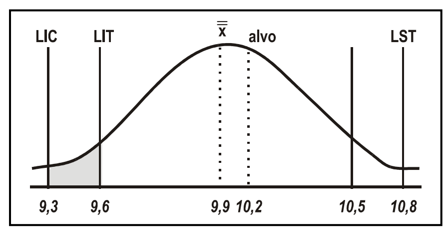
$Cpk1 = 1$ $\qquad$ $Cpk2 = 1$

h) se a média mudar para 9,9 mm haverá eixos fora de tolerância? Em caso afirmativo, qual a porcentagem fora de tolerância?

Há uma possibilidade de termos peças abaixo do LIT.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad \therefore \quad z = \frac{9,9 - 9,6}{0,2} \therefore z = 1,5$$

Pz = 6,68%



Exercício proposto N.º 2

O comprimento de um pino segue uma distribuição normal, com média de 101 mm e desvio padrão de 2 mm. A especificação de engenharia é 100 + / – 5 mm. Determinar:

a) A porcentagem de comprimentos acima de 105 mm.
b) A porcentagem de comprimentos abaixo de 95 mm.
c) A porcentagem de comprimentos entre 97 e 103 mm.
d) A medida do comprimento acima do qual tem-se 10 % das peças.
e) A porcentagem de peças não conforme (abaixo de 95 mm e acima de 105 mm).
f) Calcular os índices de capabilidade de Cp e Cpk.
g) Se a média mudar para 100 mm (alvo), sem alteração do desvio padrão de 2 mm, determinar a percentagem de peças não conforme (abaixo de 95 mm e acima de 105 mm).
h) Qual deveria ser o desvio padrão, com a média 100 mm, para haver apenas 0,5% de peças não conforme?

Exercício Resolvido N.º 6

Resolução do exercício do gráfico de controle X’, R (pág. 98)

1. Calcular a média das amostras (X’);

$$X' = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{N} \qquad Ex.: \frac{65+70+65+65+55}{5} = \frac{350}{5} = 70$$

2. Calcular a amplitude das amostras (R);

R = (MAIOR VALOR – MENOR VALOR) = 85 – 65 = 20

3. Calcular a média das médias (X’’);

$$X'' = \frac{\sum_{i=1}^{n} X'_i}{N} = \frac{1780}{25} = 71{,}60$$

4. Calcular a média das amplitudes (R’);

$$R' = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{N} = \frac{445}{25} = 17{,}80$$

5. Calcular os limites de controle para as médias X’’;

$LIC_X \Rightarrow X'' - A_2 \cdot R'$
$LSC_X \Rightarrow X'' + A_2 \cdot R'$
Donde: $A_2 = 0{,}577$ tirvado da tabela no anexo I.
Ex.: $LSC_X = 71{,}60 + 0{,}577 \times 17{,}80 \Rightarrow LSC_{X''} = 81{,}87 \cong 81{,}9$
$LIC_X = 71{,}60 - 0{,}577 \times 17{,}80 \Rightarrow LIC_{X''} = 61{,}32 \cong 61{,}3$

6. Calcular os limites de controle para as amplitudes R’;

$LIC_X \Rightarrow D_4 \cdot R'$
$LSC_X \Rightarrow D_3 \cdot R'$
Donde: $D_4 = 2{,}114$ tirado da tabela do anexo I, bem como D_3 = zero, tirado também da tabela do anexo I.
Ex.: $LIC_R \Rightarrow 2{,}114 \times 17{,}8 \Rightarrow 37{,}62 \cong 37{,}6$
$LIC_R \Rightarrow 0 \times 17{,}8 \Rightarrow 0 = 0$

7. Preencher o gráfico;

8. Análise do gráfico;

O processo não está sob controle estatístico:

a) Há uma média fora do LSC_X
b) As médias apresentam uma corrida
c) Há uma amplitude fora do LSC_R

9. Sendo os limites de tolerância de 0,50 mm e 0,90 mm calcular:

9.1. Os índices Cp e Cpk;

Para n = 5, d_2 = 2,326 (Anexo I).

$$\hat{\sigma} = \frac{R'}{d_2} = \frac{17{,}8}{2{,}326} = 7{,}65$$

$$C_p = \frac{LST - LIT}{6\hat{\sigma}} = \frac{90 - 50}{6.7{,}65} = 0{,}87$$

$$C_{pk1} = \frac{LST - X''}{3\hat{\sigma}} = \frac{90 - 71{,}6}{3.7{,}65} = 0{,}80$$

$$C_{pk2} = \frac{X'' - LIT}{3\hat{\sigma}} = \frac{71{,}6 - 50}{3.7{,}65} = 0{,}94$$

9.2. O percentual de peças fora de tolerância (não conforme)

$$z1 = \frac{LST - X''}{\hat{\sigma}} = \frac{90 - 71{,}6}{7{,}65} = 2{,}40 \qquad \text{Pz1=0,82\%}$$

$$z2 = \frac{X'' - LIT}{\hat{\sigma}} = \frac{71{,}6 - 50}{7{,}65} = 2{,}82 \qquad \text{Pz2=0,24\%}$$

P = Pz1 + Pz2 = 1,06%

10. Se a média mudasse para o alvo de 0,70 mm determine:

10.1. Os novos índices Cp e Cpk;

$$C_p = \frac{LST - LIT}{6\hat{\sigma}} = \frac{90 - 50}{6.7{,}65} = 0{,}87$$

$$C_{pk1} = \frac{LST - X''}{3\hat{\sigma}} = \frac{90-70}{3.7,65} = 0,87$$

$$C_{pk2} = \frac{X''-LIT}{3\hat{\sigma}} = \frac{70-50}{3.7,65} = 0,87$$

10.2. O percentual de peças fora de tolerância (não conforme)

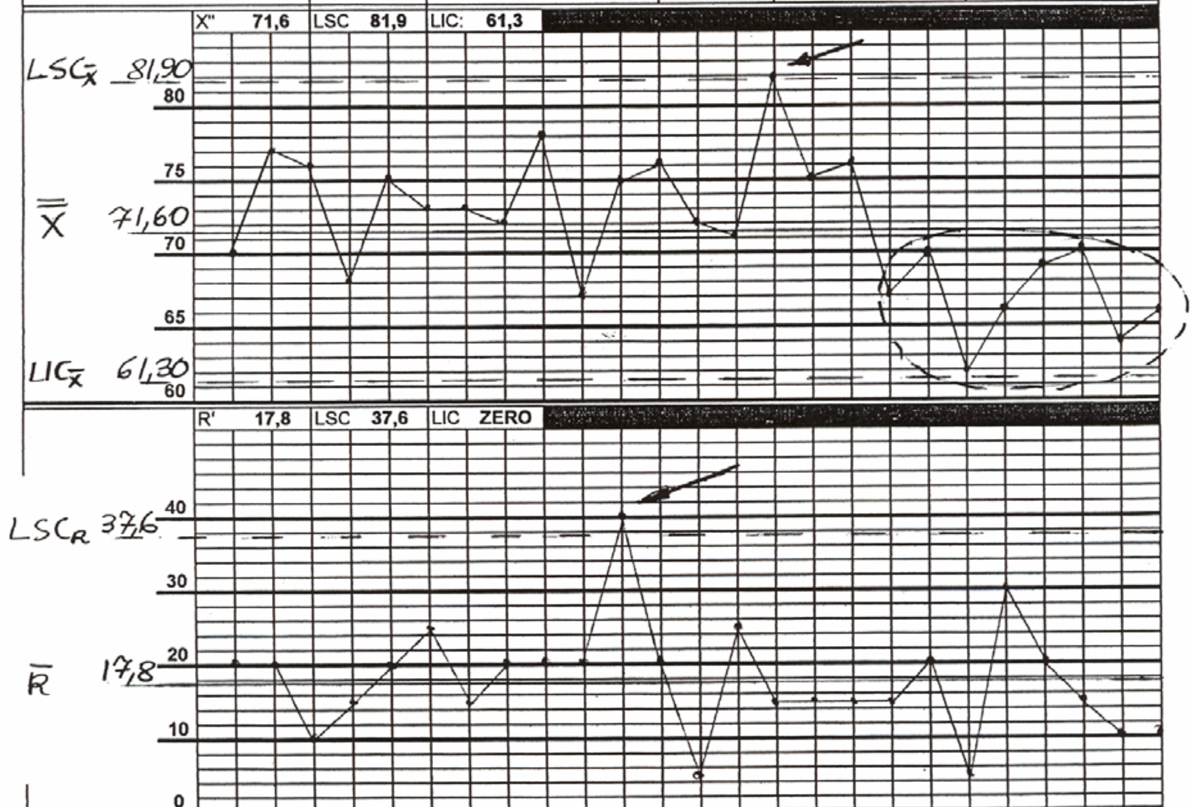
$$z1 = z2 = \frac{LST - X''}{\hat{\sigma}} = 2,61$$ z = 2,61 na tabela do Anexo III teremos o valor de 0,0045 ≅ 0,45 %.

Logo a resposta é a soma 0,45 + 0,45 = 0,90 %.

Isto mostra que, mesmo o processo não sendo capaz, o percentual de peças fora de tolerância é minimizado fazendo-se a média coincidir com o alvo.

Exercício Resolvido N.º 6

	CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO			APROVAÇÃO	REVISÃO
PEÇA Nº / NOME / MODELO	DEPT.	CARACTERÍSTICA	ALVO	MÁQUINA Nº	FREQÜÊNCIA
GRAMPO	10	ESPESSURA DO CANAL	0,70 MM	20	5 / TURNO



DATA:																										
HORA:																										
AMOSTRAS	1	65	75	75	60	70	60	75	60	65	60	80	85	70	65	90	75	75	75	65	60	50	60	80	65	65
	2	70	85	80	70	75	75	80	70	80	70	75	75	70	70	80	80	70	70	65	60	55	80	65	60	70
	3	65	75	80	70	65	75	65	80	85	60	90	85	75	85	80	75	85	60	85	65	65	65	75	65	70
	4	65	85	70	75	85	85	75	75	85	80	50	65	75	75	75	80	70	70	65	60	80	65	65	60	60
	5	85	65	75	65	80	70	70	75	75	65	80	70	70	60	85	65	80	60	70	65	80	75	65	70	65
X'		70	77	76	68	75	73	73	72	78	67	75	76	72	71	82	75	76	67	70	62	66	69	70	64	66
R		20	20	10	15	20	25	15	20	20	20	40	20	5	25	15	15	15	15	20	5	30	20	15	10	10
OPERADOR																										
CAIXA Nº																										
LOTE Nº																										
[redacted]																										
DIMENSIONAL																										
VISUAL																										

LEGENDA PARA RESULTADO: A= APROVADO R=REPROVADO

Exercício Proposto N.º 3

Construa uma carta de controle X', R para a característica "Espessura da camada de cromo" de um processo de "cromo duro" em uma ferramenta de corte (cortador da corrente de motoserra). Use o formulário adequado. Os limites de tolerância são: LIT: 22 microns e LST: 34 microns e o alvo é 28 microns. Foram coletadas 25 amostras de 5 elementos (n = 5):

AMOSTRA	**VALORES OBSERVADOS (em microns)**
1	29 – 27 – 28 – 27 – 29
2	24 – 26 – 28 – 29 – 28
3	28 – 30 – 31 – 30 – 30
4	31 – 32 – 30 – 30 – 30
5	28 – 27 – 28 – 25 – 27
6	30 – 30 – 30 – 31 – 28
7	25 – 27 – 28 – 28 – 29
8	24 – 25 – 27 – 28 – 28
9	28 – 25 – 29 – 32 – 28
10	30 – 27 – 29 – 28 – 31
11	30 – 25 – 28 – 28 – 30
12	25 – 26 – 32 – 29 – 31
13	31 – 29 – 27 – 26 – 29
14	28 – 26 – 29 – 32 – 28
15	22 – 28 – 26 – 23 – 29
16	28 – 26 – 30 – 27 – 29
17	28 – 27 – 26 – 29 – 30
18	28 – 28 – 27 – 30 – 28
19	25 – 25 – 28 – 28 – 28
20	25 – 26 – 27 – 28 – 29
21	23 – 25 – 28 – 28 – 31
22	30 – 30 – 24 – 30 – 25
23	27 – 27 – 29 – 28 – 27
24	29 – 31 – 28 – 29 – 30
25	25 – 29 – 27 – 31 – 31

a) Analise a carta (teste de Nelson)
b) Verifique se processo está sob controle estatístico
c) Verifique se o processo é capaz. Se o processo não for capaz, calcule o percentual de peças não conforme.
d) Calcule os índices de capabilidade do processo Cp e Cpk.
e) Se o processo for ajustado com a média no alvo ainda há peças não conforme? Em caso positivo, qual o percentual?
f) Quais os novos índices Cp e Cpk se a média estiver no alvo?

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

PEÇA Nº / NOME/ MODELO	DEPTO.	CARACTERÍSTICA	ALVO	MAQ. OU EQ. Nº MOD.	FREQÜÊNCIA	APROVAÇÃO:	REVISÃO:

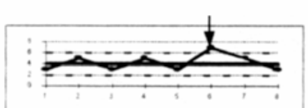
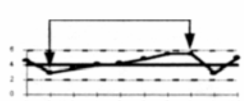
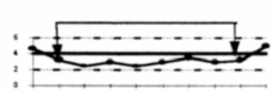
X'': LSC:
LIC:

MÉDIAS

R': LSC:
LIC:

AMPLITUDES

DATA																										
HORA																										
DADOS	1																									
	2																									
	3																									
	4																									
	5																									
X'																										
R																										
Operador																										
Caixa nº																										
Lote nº																										
RESULTADO																										
Dimensional																										
Visual																										

Exercícios Propostos

Nº 4: Carta de Controle $\overline{X}$, s

N.º 5: Carta de Controle $\tilde{X}$, R

N.º 6: Carta de Controle X, Rm

N.º 7: Carta de Controle para atributo (p)

CARTAS DE CONTROLE:
$\tilde{X}$, s; $\tilde{X}$, R; X, Rm (valores individuais); Carta **p**:

a) Completar as cartas de controle com os respectivos gráficos. Indicar bem as médias e limites de controle nos gráficos (de preferência com caneta vermelha). Apresentar todos os cálculos.
b) Analisar os gráficos e fazer comentários sobre os resultados obtidos.
c) Calcular os índices C_p e C_{pk}.
d) Calcular o percentual de peças fora dos limites de tolerância. Ilustrar com croquis.
e) Se a média mudasse para o alvo, sem alteração da dispersão, qual seria o percentual de peças fora de tolerância?

Observação: Os itens **c) d)** e **e)** somente podem ser calculados se informados os limites de tolerância.

CARTA X, s ESPECIFICAÇÃO 1,00 – 1,30

PN:

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

APROVAÇÃO:	REVISÃO

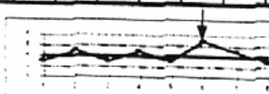
PEÇA Nº / NOME / MODELO	DEPTO.	CARACTERÍSTICA	TARGET	MAQ.OU EQUIP.Nº MOD.	FREQUÊNCIA

X: LSC: LIC:

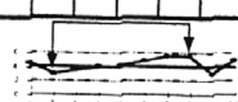
R: S LSC: LIC:

DATA											
HORA											
AMOSTRA	1	1,30	1,01	1,22	1,08	,98	1,12	,92	1,04	1,08	1,20
	2	1.10	1.10	1,05	1.12	1,30	1.30	1,10	1,14	,92	1.13
	3	1,20	1,15	,93	1,11	1,31	1,01	1,13	1.18	1,14	1.19
	4	1,25	,97	1,08	1,28	1.12	1,20	1,02	1,12	1,20	1.16
	5	1,05	1,25	1,15	1,00	1,08	1,11	,93	1,00	1,02	1.03
$\overline{X}$											
S											
Operador											
Caixa nº											
Lote nº											
Dimensional											
Visual											

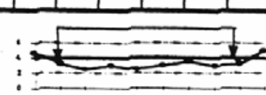
1- Pontos fora dos limites de controle.



2- Tendência. 07 pontos consecutivos para cima ou para baixo.

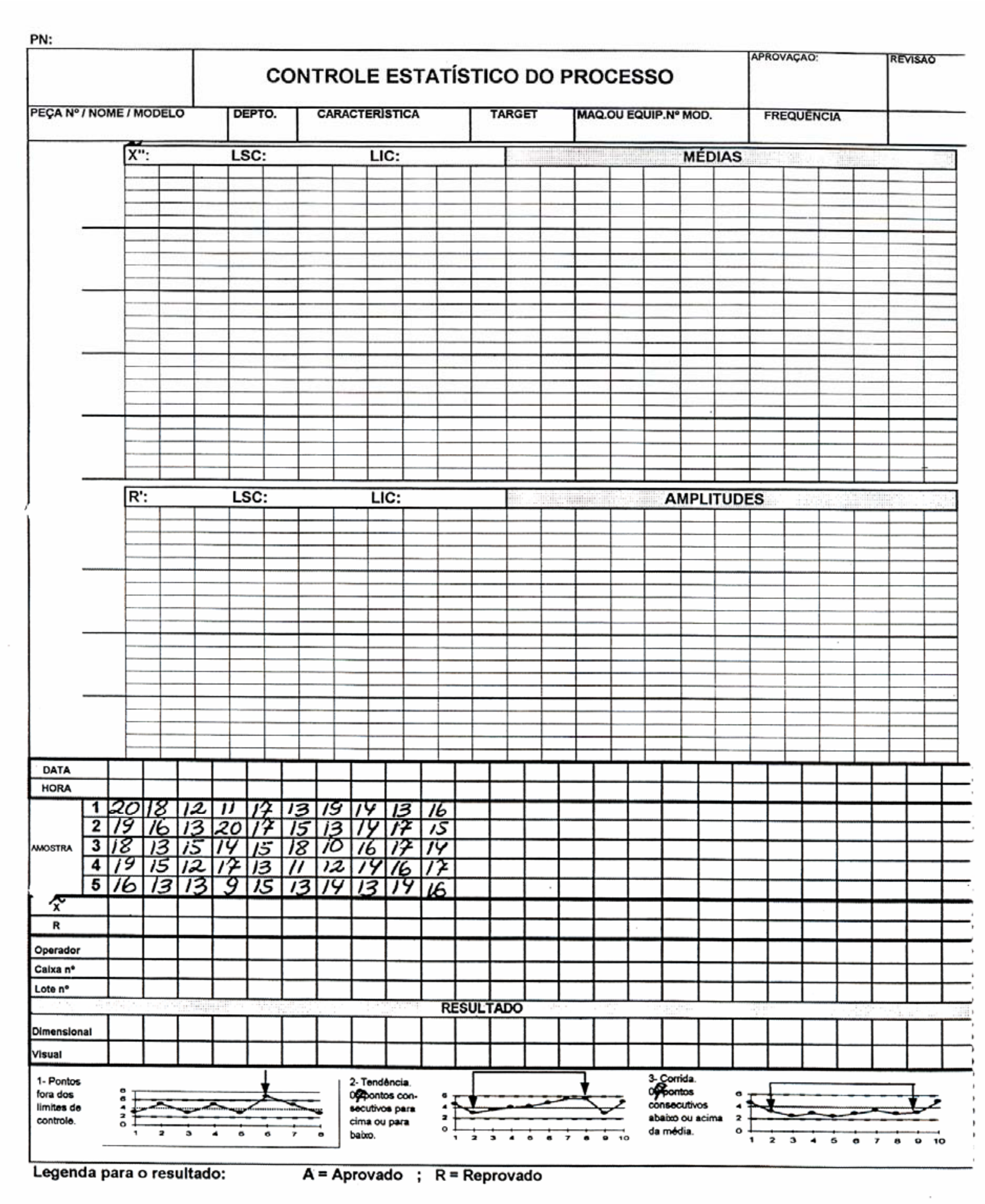


3- Corrida. 07 pontos consecutivos abaixo ou acima da média.



Legenda para o resultado: A = Aprovado ; R = Reprovado

CARTA DE MEDIANAS X



PN:

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

APROVAÇÃO: | REVISÃO

PEÇA Nº / NOME / MODELO | DEPTO. | CARACTERÍSTICA | TARGET | MAQ.OU EQUIP.Nº MOD. | FREQUÊNCIA

X": LSC: LIC: MÉDIAS

R': LSC: LIC: AMPLITUDES

DATA											
HORA											
AMOSTRA	1	20	18	12	11	17	13	19	14	13	16
	2	19	16	13	20	17	15	13	14	17	15
	3	18	13	15	14	15	18	10	16	17	14
	4	19	15	12	17	13	11	12	14	16	17
	5	16	13	13	9	15	13	14	13	14	16
$\tilde{X}$											
R											
Operador											
Caixa nº											
Lote nº											
RESULTADO											
Dimensional											
Visual											

1- Pontos fora dos limites de controle.

2- Tendência. 07 pontos consecutivos para cima ou para baixo.

3- Corrida. 07 pontos consecutivos abaixo ou acima da média.

Legenda para o resultado: A = Aprovado ; R = Reprovado

ALVO = 35   CARTA X / $R_{móvel}$ LIT = 27   LST = 43

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO

APROVAÇÃO: | REVISÃO

PEÇA Nº / NOME / MODELO | DEPTO. | CARACTERÍSTICA | TARGET | MAQ.OU EQUIP.Nº MOD. | FREQUÊNCIA: 1 PEÇA / DIA

X'': LSC: LIC: MÉDIAS

R': LSC: LIC: AMPLITUDES

DATA

HORA

AMOSTRA 1 2 3 4 5

X	30	33	41	38	41	33	36	32	27	28	40	34	41	32	35	33	31	36	35	38	39	28	34	41	22
Rm																									

Operador

Caixa nº

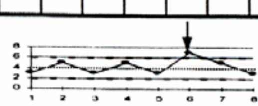
Lote nº

RESULTADO

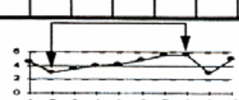
Dimensional

Visual

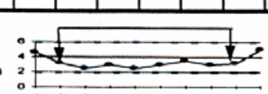
1- Pontos fora dos limites de controle.



2- Tendência. 07 pontos consecutivos para cima ou para baixo.



3- Corrida. 07 pontos consecutivos abaixo ou acima da média.



Legenda para o resultado: A = Aprovado ; R = Reprovado

EXERCÍCIO – CARTA P

O processo cujos dados estão abaixo, e refere à produção de aparelhos de TV na Operação Montagem. Abaixo informamos a data, a quantidade de aparelhos inspecionados e o número de defeitos encontrados. Com os dados abaixo:

a) Construa a carta de controle p.
b) Interprete a carta.

DATA	APS. INSPECIONADOS	DEFEITOS
10 / 04	80	11
11 / 04	80	9
12 / 04	80	11
13 / 04	80	15
16 / 04	80	17
17 / 04	80	18
18 / 04	80	14
19 / 04	80	13
23 / 04	80	14
24 / 04	80	10
25 / 04	80	5
26 / 04	80	10
27 / 04	80	8
02 / 05	64	14
03 / 05	64	11
04 / 05	64	5
07 / 05	64	12
08 / 05	64	6
09 / 05	64	6
15 / 05	64	8
16 / 05	64	10
17 / 05	64	8
18 / 05	64	11
21 / 05	64	10
22 / 05	64	8

CARTA DE CONTROLE PARA ATRIBUTOS

FÁBRICA	p □ c □ np □ u □	PEÇA, NÚMERO E NOME
DEPARTAMENTO	OPERAÇÃO, NÚMERO E NOME	
Média = LSC = LIC =	DATA DOS LIMITES DE CONTROLE CALCULADOS	Tamanho Médio da Amostra: Freqüência:

Amostr (n)																										
Dsiscrepâncias	Número (np, c)																									
	Proporção (p, u)																									
Data (turno, hora, etc.)																										

QUALQUER MUDANÇA NO PESSOAL, EQUIPAMENTO, MATERIAIS, MÉTODOS, AMBIENTE, OU SISTEMAS DE MEDIÇÃO DEVER SER ANOTADA. ESTAS ANOTAÇÕES AJUDARÃO VOCÊ A TOMAR UMA AÇÃO CORRETIVA OU DE MELHORIA DO PROCESSO, CONFORME ASSINALADO PELA CARTA DE CONTROLE.

DATA	HORA	COMENTÁRIOS

LEMBRETE: Guia para seleção das cartas para atributos:

NÚMERO

(Simples, mas exige o tamanho da amostra constante).

PROPORÇÃO

(Mais complexa, contudo ajusta-se a uma proporção compreensível, e pode ser usada com o tamanho da amostra variável).

Itens não-conforme	Não-conformidades
np	c
p	u

Exercício Proposto N.º 8

CALCULAR:
A REPETIBILIDADE E REPRODUTIBILIDADE DE SISTEMA DE MEDIÇÃO (RR).

EMPRESA:						**ÁREA:**					
EQUIPAMENTO:						**PRODUTO:**					
CARACTERÍSTICA:						**TOLERÂNCIA:**					
A	NOME:			B	NOME:			C	NOME:		
	PRIMEIRA LEITURA	SEGUNDA LEITURA	DIFERENÇA (R)		PRIMEIRA LEITURA	SEGUNDA LEITURA	DIFERENÇA (R)		PRIMEIRA LEITURA	SEGUNDA LEITURA	DIFERENÇA (R)
1	21,8	22,2		1	20,4	21,4		1	20,8	21,3	
2	35,7	34,4		2	34,0	34,9		2	34,5	35,4	
3	70,8	69,0		3	69,8	70,6		3	68,1	71,9	
4	84,0	83,8		4	85,0	84,9		4	84,0	83,8	
5	36,5	35,4		5	36,6	35,4		5	34,9	35,9	
6	42,3	45,6		6	45,4	46,3		6	45,6	46,8	
7	51,2	50,2		7	50,4	50,0		7	51,0	51,6	
8	64,8	64,4		8	64,8	63,5		8	63,4	65,8	
9	32,2	33,4		9	32,3	33,6		9	33,5	33,9	
10	51,8	51,2		10	51,2	51,1		10	51,0	51,2	
SOMA				SOMA				SOMA			
	$\overline{X}_{A1}$	$\overline{X}_{A11}$	S_A		$\overline{X}_{B1}$	$\overline{X}_{B11}$	S_B		$\overline{X}_{C1}$	$\overline{X}_{C11}$	S_C
MÉDIA				MÉDIA				MÉDIA			
A	$S_A =$ $\overline{\overline{X}}_A = \frac{\overline{X}_{A1} + \overline{X}_{A11}}{2} =$			B	$S_B =$ $\overline{\overline{X}}_B = \frac{\overline{X}_{B1} + \overline{X}_{B11}}{2} =$			C	$S_C =$ $\overline{\overline{X}}_C = \frac{\overline{X}_{C1} + \overline{X}_{C11}}{2} =$		

$$S_{RPT} = \frac{S_A + S_B + S_C}{3\sqrt{2}} =$$

$$S_{RPD} = desvio \quad padrão \quad entre \quad \overline{\overline{X}}_A, \overline{\overline{X}}_B \quad e \quad \overline{\overline{X}}_C =$$

$$S_T = \sqrt{S_{RPT}^2 + S_{RPD}^2} =$$

$$RR = \frac{6.S_T}{T} =$$

Exercício Resolvido N.º 7

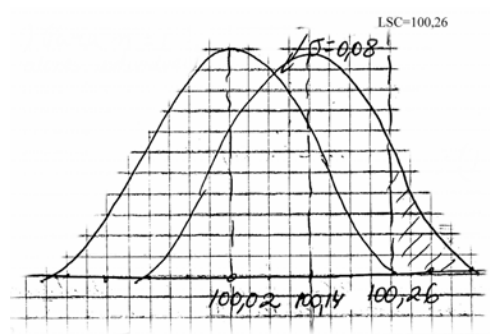
Um processo, sob controle estatístico, produz eixos com a característica diâmetro com média de 100,02 mm e desvio padrão de 0,08 mm.

Se houver uma mudança no processo, com deslocamento da média para 100,14 mm, sem alteração da dispersão, pede-se calcular:

a. Com uma carta de controle para medições individuais, quantas amostras de um elemento seriam necessárias para se detectar esta mudança com 95 % de probabilidade através de um ponto fora dos limites de controle?
b. Nas mesmas condições com uma carta de controle para amostras de 5 elementos?
c. Nas mesmas condições com uma carta de controle para amostras de 25 elementos?

Haverá peças além do LSC estabelecido para o processo.

a) Para n = 1 (valores individuais)



LSC = $\mu + 3\sigma$ = 100,02 + 3 x 0,08 = 100.26

$$z = \frac{100{,}26 - 100{,}14}{0{,}08} = \frac{0{,}12}{0{,}08}$$

$z = 1{,}5$

P_z = 6,68 % (Ação)

$\therefore$ $(1 - 0{,}00668)^n = (1 - 0{,}95)$

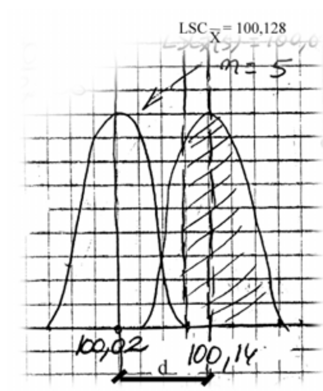
$$\therefore n = \frac{\log 0{,}05}{\log 0{,}9332} = 43{,}3$$

44 amostras

b) Para n = 5 Observação: a média $\overline{\overline{X}}$ acompanha a média μ da população.

$$\sigma_{\overline{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{5}} = \frac{\sigma}{2{,}236}$$

$\sigma_{\overline{X}} = 0{,}036$ LSC$\overline{X}$ = 100,02 + 3 x 0,036 = 100,128



$$d = \frac{100{,}14 - 100{,}02}{0{,}036} = 3{,}33$$

$\therefore z = 0{,}33$ (d-3) ou $z = \dfrac{100{,}14 - 100{,}128}{0{,}036}$

P_z = 37,07%

P_z = 50 % + (50 % – 37,07) % = 62,9 % (probabilidade fora do LSC$\overline{X}$)

$(1 - 0{,}629)^n = 0{,}05$

n ≅ 3,02 → 3 amostras de n=5

c) Para n = 25

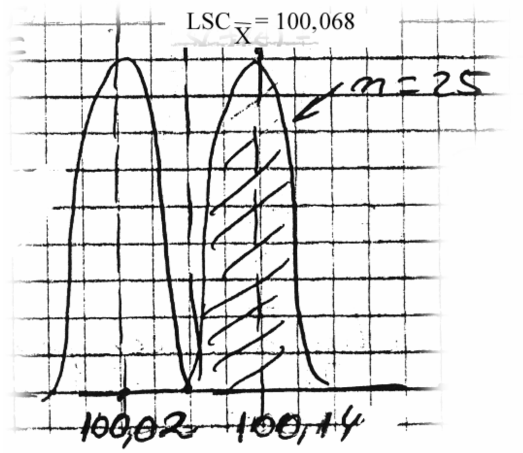
$$\sigma_{\overline{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{25}} = \frac{\sigma}{5}$$

$\sigma_{\overline{X}} = 0{,}016$

$LSC_{\overline{X}}$ (25) = 100,02 + 3 X 0,016 = 100,068

$d = \frac{100{,}14 - 100{,}02}{0{,}016} = 7{,}5 \quad z = d - 3$

$\therefore$ z = 7,5 – 3 = 4,5 (sai da tabela)



Considerar 100 % = P_p (probabilidade fora do $LSC_{\overline{X}}$)

$\therefore$ n = 1 amostra

Verificação:

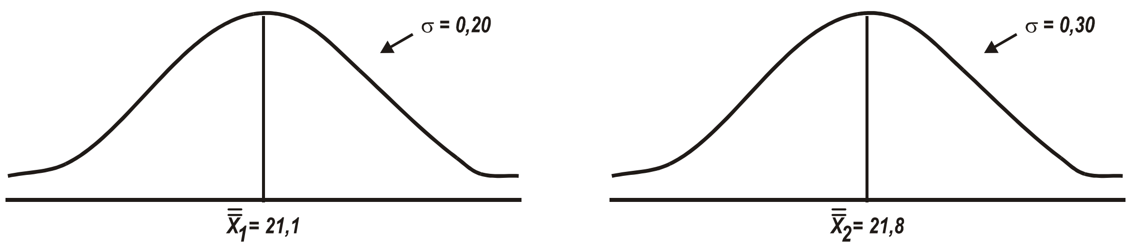
$z = \frac{100{,}14 - 100{,}068}{0{,}016} = 4{,}5$

$P_z = 0\% \therefore P=100\%$

Exercício Resolvido N.º 8

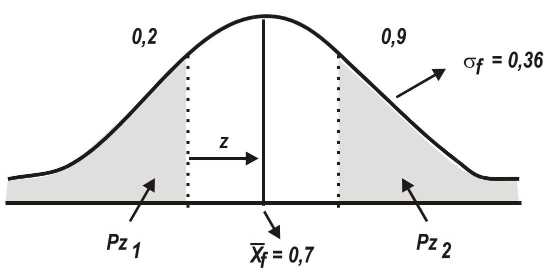
Eixos são fabricados com média X’’ = 21,10 mm e desvio padrão de 0,20 mm.
As respectivas buchas são fabricadas com média X’’ = 21,80 mm e desvio padrão de 0,30 mm. Havendo montagem aleatória, calcular:

a. A probabilidade de interferência entre as duas distribuições, não permitindo a montagem.
b. Sendo a folga mínima especificada de 0,20 mm, calcular a probabilidade de montagens com folga menor.
c. Sendo a folga máxima especificada de 0,90 mm, calcular a probabilidade de montagens com folga maior.



No caso o desvio padrão da folga $\sigma_f^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 \quad \therefore \quad \sigma_f = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = 0,36$

Nova distribuição da folga



$\overline{X}_f = \overline{\overline{X}}_2 - \overline{\overline{X}}_1$ **= 21,8 = 21,1 = 0,70**

a) Interferência é folga <0 (menor que zero) ∴ X=0

$$Z = \frac{\overline{X}_f - X}{\sigma_f}$$

$$Z = \frac{0,70 - 0}{0,36} = 1,94 \rightarrow Pz = 2,62\%$$

b) **Montagens com folga menor que 0,20mm (X=0,20)**

$$Z = \frac{\overline{X}_f - X}{\sigma_f} = \frac{0{,}70 - 0{,}20}{0{,}36} = 1{,}388$$

$Pz_1 = 8{,}23\%$

c) **Montagens com folga maior que 0,90mm (X=0,90)**

$$Z = \frac{X - \overline{X}_f}{\sigma_f} = \frac{0{,}90 - 0{,}70}{0{,}36} = 1{,}55$$

$Pz_2 = 29{,}12\%$

Exercício Proposto N.º 9

Para a verificação dos índices de capabilidade de um micrômetro foi medido várias vezes um bloco padrão de 10,000 mm. A média dos valores encontrados foi de 10,002 mm e o desvio padrão de 0,001 mm. Sendo os limites de tolerância da peça a ser medida 9,100 mm e 9,150 mm, determinar os índices Cgm e Cgmk.

Exercício Proposto N.º 10

Exercício proposto N.º 10
Um processo, sob controle estatístico, produz eixos com a característica diâmetro com média de 54,20 mm e desvio padrão de 0,40 mm.
Se houver uma mudança no processo, com deslocamento da média para 53,80 mm, sem alteração da dispersão, pede-se calcular:

a) Com uma carta de controle para medições individuais, quantas amostras de um elemento seriam necessárias para se detectar esta mudança com 95 % de probabilidade através de um ponto fora dos limites de controle.
b) Nas mesmas condições com uma carta de controle para amostras de 5 elementos?
c) Nas mesmas condições com uma carta de controle para amostras de 25 elementos?

Exercício Proposto N.º 11

Pinos A são fabricados para serem montados em peças com furo B.
As cartas de controle indicam que tanto o pino quanto o furo tem distribuições normais com os seguintes valores:

Pino A
Diâmetro médio: 26,10 mm
Desvio padrão: 0,012 mm

Furo B
Diâmetro médio: 26,15 mm
Desvio padrão: 0,015 mm

Havendo montagem aleatória, qual é a probabilidade de interferência entre as duas distribuições?

QUESTÕES PARA AVALIAÇÃO

1. Qual a diferença entre variáveis e atributos? Exemplifique.
2. Quais são as medidas de tendência central de uma distribuição de freqüências? Exemplificar.
3. Quais são as medidas de dispersão de uma distribuição de freqüências? Exemplificar.
4. Qual a diferença entre um processo preciso e exato? Ilustrar.
5. Um instrumento de medição pode ser preciso mas não exato? Explicar.
6. Um processo pode ser exato mas não preciso? Explicar.
7. Explicar porque o CEP previne a produção de produto não conforme. Ilustrar.
8. Explicar causas comuns de variação. Exemplificar.
9. Explicar causas especiais de variação. Exemplificar.
10. O que é um processo sob controle estatístico? Como é determinado?
11. Um processo sob controle estatístico é sempre capaz? Explicar.
12. Um processo pode ser capaz sem estar sob controle estatístico? Explicar e ilustrar.
13. Por que é importante ter o processo centrado no alvo ou objetivo? Ilustrar.
14. Se um conjunto de amostras de um processo produtivo tiver todos os valores dentro dos limites de tolerância, podemos concluir que todas as peças da produção (população) estão dentro dos limites de tolerância também?
15. O que é capabilidade de um processo? Como a capabilidade é medida?
16. Dar as fórmulas do índice de capabilidade do processo Cp e Cpk. Ilustrar.
17. Exemplificar os índices de capabilidade Cp e Cpk com valores numéricos.
18. Como se mede a capabilidade de um meio de medição? Ilustrar.
19. O que é corrida e tendência em uma carta de controle?
20. Explicar porque uma carta de controle de médias de amostras é mais utilizada que uma carta para indivíduos (valores individuais). Explicar as vantagens e desvantagens da carta de controle de médias. Ilustrar.
21. Explicar os riscos ou erros α e β no controle do processo. Ilustrar.
22. Dois fornecedores fornecem uma peça com uma característica importante dentro dos limites de tolerância mas usam toda a faixa de tolerância (especificação). É possível um fornecedor apresentar uma qualidade superior nesta característica? Ilustrar.

GLOSSÁRIO DE SÍMBOLOS

SÍMBOLOS:

X ou x – valor a ser estudado (variável)

$\overline{X}$ – (X barra): média dos valores X que constituem um subgrupo

$\overline{\overline{X}}$ – (X barra barra): média de um grupo de médias

$\tilde{X}$ – (X til): mediana

$\overline{\tilde{X}}$ – (X til barra): média de um grupo de medianas

n – número de elementos que constituem o subgrupo ou amostra

N – número de subgrupos ou amostras consideradas para o estudo

R – amplitude (diferença entre os valores máximo e mínimo num subgrupo)

$\overline{R}$ – (R barra): média de um grupo de amplitudes

S – desvio padrão de um subgrupo (desvio padrão amostral)

$\overline{s}$ - (s barra): média de um drupo de desvios padrão amostrais

σ – (sigma): desvio padrão da população

$\hat{\sigma}$ – (sigma chapéu): desvio padrão da população estimado: $\hat{\sigma} = \overline{R}/d2$ para gráfico $\overline{X}$, R

$\sigma_{\overline{X}}$– desvio padrão da distribuição das médias $\overline{X}$ dos subgrupos

μ – média da população

LSC – limite superior de controle

LIC – limite inferior de controle

LST – limite superior de tolerância

LIT – limite inferior de tolerância

LSE – limite superior de especificação (LSE = LST)

LIE – limite inferior de especificação (LIE = LIT)

LM – linha média

Rm – amplitude móvel (para gráficos de valores individuais)

p – porcentagem de unidades não conforme numa amostra

np – unidades não conforme

Observação: em alguns casos a barra sobre a letra, representando média, é substituída pelo sinal “linha”. Exemplos: $\overline{X}$ = X’; $\overline{\overline{X}}$ = X”.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BEAUREGARD, Michael R. et al., **A Practical Guide to Statistical Quality Improvement – opening up the statistical toolbox**, USA, Van Nostrand Reinhold, 1992

2. **DATAMYTE HANDBOOK - Introduction to Statistical Quality Control.,** Allen Bradley Co. Inc., sixth edition, 1995.

3. DIETRICH, Edgar – **SPC or Statistics**, Quality Magazine, August 2000.

4. BROCKA, Bruce, et al - **Gerenciamento da Qualidade**, Makron Books do Brasil, 1995

5. CAMPOS, Vicente Falconi – **TQC: Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)** – Belo Horizonte, MG : Fundação Cristiano Ottoni, 1992

6. FIOD NETO, Miguel - **Taguchi e a Melhoria da Qualidade.** Uma Releitura Crítica, 1997

7. FORD MOTOR COMPANY, **Continuing Process Control and Process Capability Improvement**, 1984.

8. GRANT, Eugene L., Leavenworth, Richard S. – **Statistical Quality Control.** McGraw-Hill, 1988

9. OAKLAND, John S., Followel, Roy F., **Statistical Process Control – Oxford**, Billing & Sons Ltd, 1990

10. PANDE, Peter S., NEUMAN, Robert P., CAVANAGH, Roland R. – **The Six Sigma Way**, McGraw-Hill, 1998. Editado em português por Qualitymark Editora Ltda, 2001.

11. PYZDEK, Thomas **– The Complete Guide to the CQE**, Quality Publishing, 1996.

12. RAMOS, Alberto W. – **Controle Estatístico de Processo para Pequenos Lotes**, Editora Edgard Blücher Ltda, 1995.

13. SLIFKER, J.F. & Shapiro, S.S. **– Selection and Parameter Estimation**, Technometrics, 1980.

14. SUZAKI, Kiyoshi - **The New Manufacturing Challenge – techniques for continuous improvement**, New York, The Free Press, 1987