

Controle Estatístico de Qualidade

Capítulo 4
(montgomery)

Controle Estatístico de Qualidade

- Introdução

- A II Guerra Mundial trouxe a necessidade de se produzir grande quantidade de produtos militares com qualidade e prazos pequenos;
- Nesta época, financiado pelo Depto de Defesa dos EUA, têm grande difusão o **controle estatístico de qualidade (CEQ)**, tendo como base os estudos de:
 - Shewhart – Cartas de Controle;
 - Dodge e Romig – Técnicas de Amostragem

Controle Estatístico de Qualidade

- Introdução

- O uso de técnicas de amostragem tornou a inspeção mais eficiente, eliminando a “amostragem 100%”; A amostragem 100% normalmente representava um
 - Elevado Custo
 - Excesso de Tempo
- O CEQ se preocupava apenas em detectar defeitos. No entanto, não havia uma preocupação em investigar as **causas** que levam a tais defeitos nem com a **prevenção** dos mesmos.

Controle Estatístico do Processo

- **Introdução**

- O **Controle Estatístico do Processo** (CEP) representa uma evolução do CEQ;
- O CEP preocupa-se com a monitoração de um processo, verificando, se o mesmo está dentro de limites determinados.
- O CEP procura:
 - **A estabilização de processos através da redução de sua variabilidade, visando a melhoria e manutenção da qualidade.**

Controle Estatístico do Processo

- O papel do CEP
 - O **Controle Estatístico de Processo** (CEP) é uma poderosa coleção de ferramentas úteis na obtenção da estabilidade do processo e na melhoria da capacidade através da redução da variabilidade;
 - Um processo estará **sob controle (estável)** se os resultados estão em conformidade com os limites impostos, caso contrário o processo deve ser investigado para que sejam detectadas as causas do desvio;

Controle Estatístico do Processo

- O papel do CEP
 - As ferramentas que permitem monitorar um processo e dizer se ele está ou não sob controle são chamadas “**Sete Ferramentas da Qualidade**”.
 1. Gráfico de Histograma ou Ramo-e-Folhas
 2. Folha de Controle
 3. Gráfico de Pareto
 4. Diagrama de Causa-e-Efeito
 5. Diagrama de Concentração de Defeitos
 6. Diagrama de Dispersão
 7. Gráficos de Controle

As Sete Ferramentas da Qualidade

- Gráfico de Histograma ou Ramo-e-Folhas
 - Gráficos onde são mostradas as frequências dos valores observados de uma variável;
 - Através deles podemos visualizar facilmente as seguintes características:
 - Forma (simétrica ou assimétrica);
 - Posição ou Tendência Central (média, moda ou mediana);
 - Dispersão (variabilidade);
 - Embora sejam uma excelente ferramenta de visualização, eles não levam em conta a ordem temporal das observações, implícita na maioria dos problemas de controle de qualidade.

As Sete Ferramentas da Qualidade

● Gráfico de Ramo-e-Folhas (exemplo)

Descriptive Statistics

Variable	N	Mean	Median	Min	Max
Length	143	61.283	61.000	36.000	83.000

Stem-and-leaf of Length

N = 143

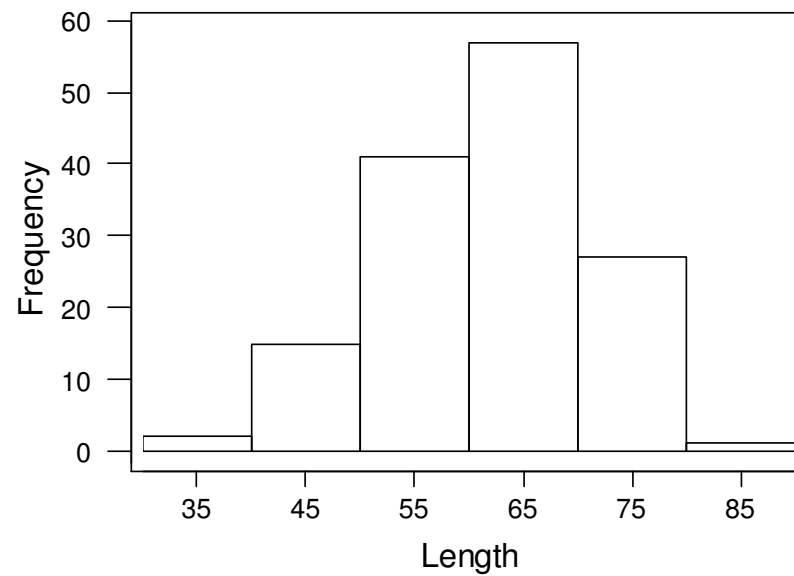
Leaf Unit = 1.0

Freq.	Ramo	Folha
2	3	67
17	4	001335566778889
58	5	00012223334455566677777777888888999999999
57	6	0000000111111112222333333334444444455556666667777789999
28	7	000001222223333555556678899
1	8	3

mediana →

As Sete Ferramentas da Qualidade

- Gráfico de Histograma



As Sete Ferramentas da Qualidade

● Folha de Controle ou Verificação

- Local onde é registrado o histórico passado e atual de uma variável do processo, sendo usada como entrada de dados no computador.
- Com os avanços computacionais, a leitura, coleta e armazenamento das informações podem ser feitos automaticamente.
- Ao planejar uma folha de controle é importante:
 - Especificar o tipo de dado a ser coletado;
 - Data;
 - Operador;
 - Outras informações úteis para investigação de causas que possam afetar o processo;
- Falhas no planejamento podem comprometer os resultados sobre a estabilidade do processo.

As Sete Ferramentas da Qualidade

- Folha de Controle ou Verificação (exemplo)
 - Registro de Defeitos em um Produto

Operador
Local

	2006												2007		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Partes Danificadas	1	3		2				5				5	1		
Solda Desalinhada			5		3	8				6					
Falha no Adesivo	1			3				1			2		3		
....															
Dimensões Incorretas		2	3		5	6	2					4			

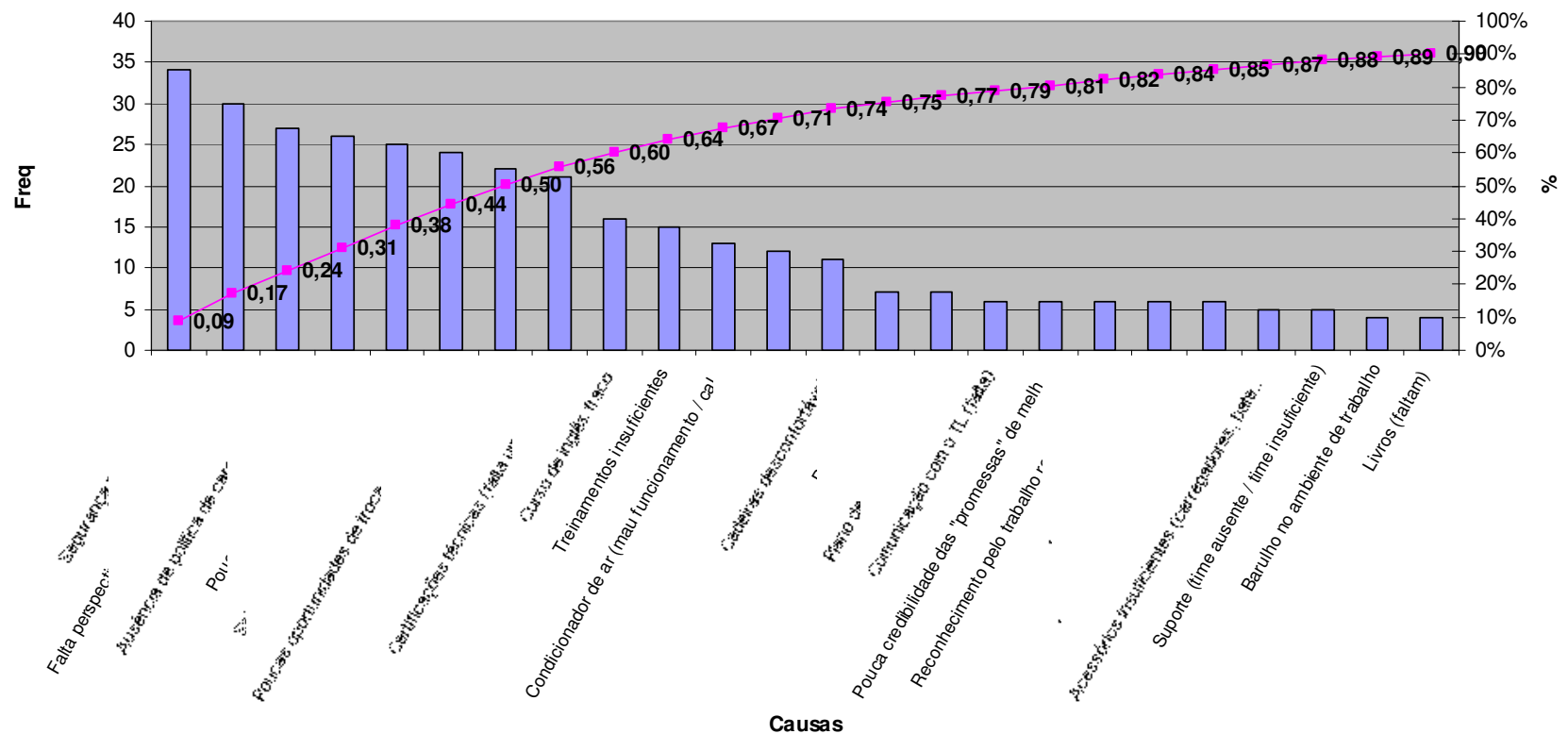
As Sete Ferramentas da Qualidade

- Gráfico de Pareto

- Similar a um histograma, com os dados categorizados;
- Possibilita identificar de forma rápida, os defeitos que ocorrem mais freqüentemente;
- “... em muitos casos, a maior parte dos defeitos e de seus custos decorrem de um pequeno número de causas.” (J. M. Juran);
- Muitos analistas adicionam ao gráfico de Pareto uma curva de frequências acumuladas.

As Sete Ferramentas da Qualidade

Gráfico de Pareto

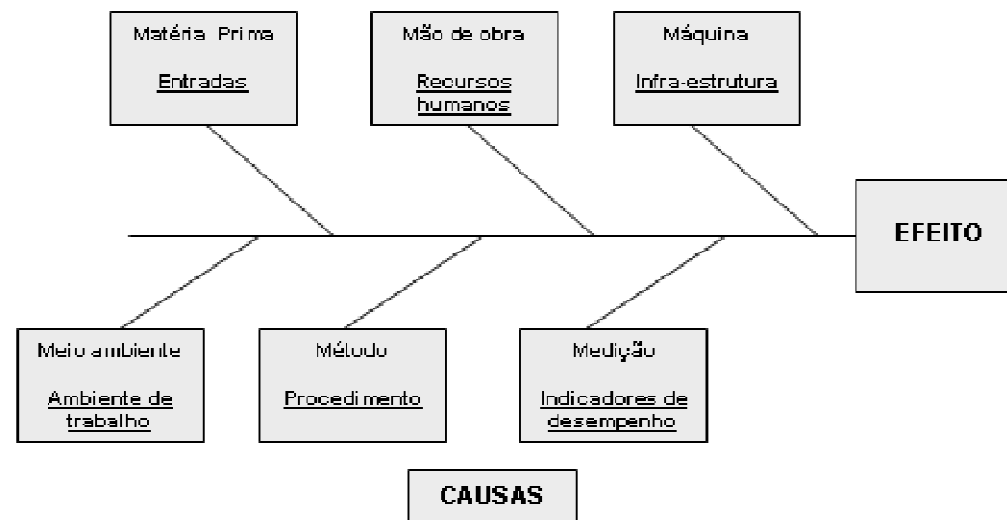


As Sete Ferramentas da Qualidade

- Diagrama Causa-e-Efeito (Ishikawa)

- Ferramenta eficiente na localização e reparo de defeitos;
- Identificado um defeito, erro ou problema, tentar analisar as **causas** potenciais desse efeito indesejável;

Diagrama "Espinha de Peixe":



As Sete Ferramentas da Qualidade

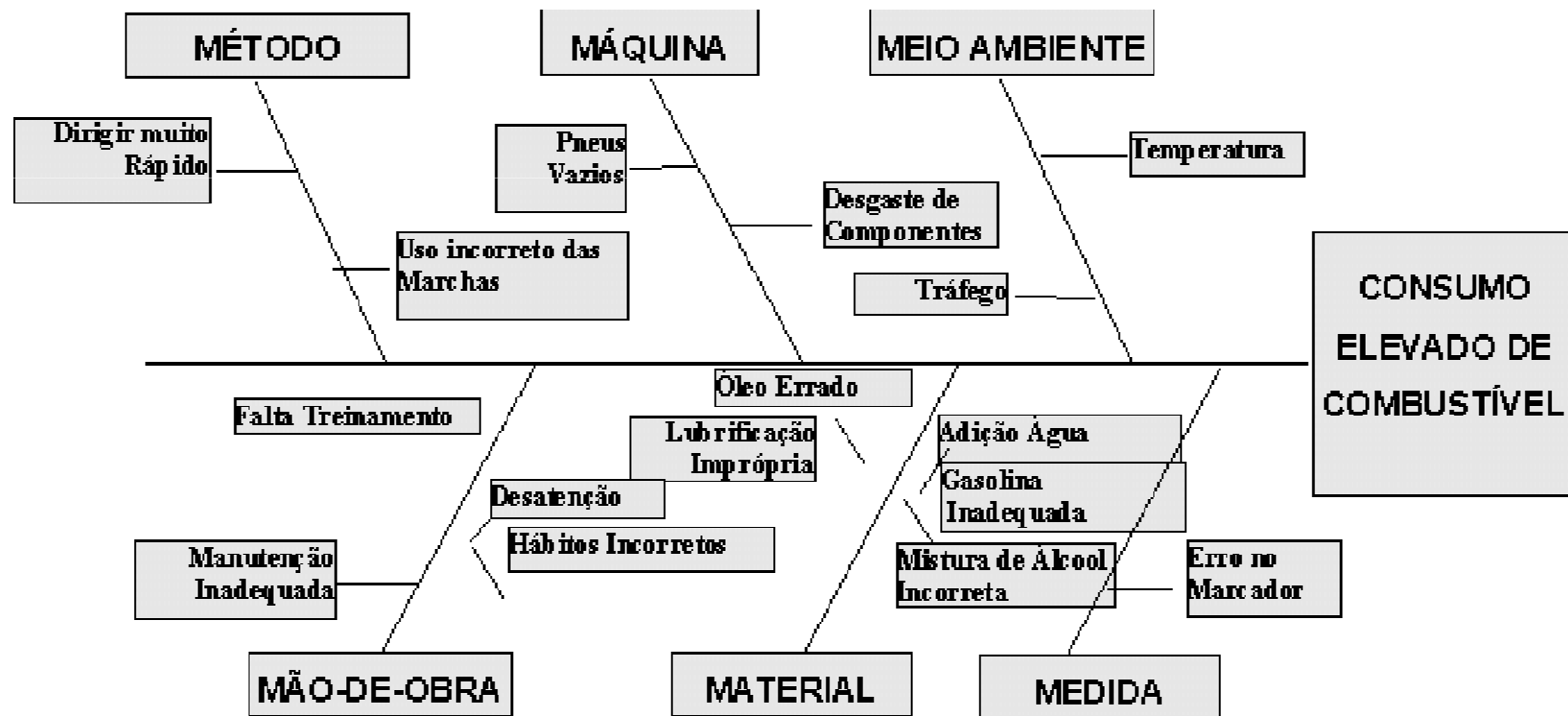
- **Construção**

1. Definir o problema ou efeito;
2. Discutir em equipe potenciais causas;
3. Desenhar a caixa de efeito e a linha central
4. Citar em caixas ligadas a linha central as principais categorias de causas;
5. Identificar causas dentro de cada categoria
6. Ordenar as causas, a partir das que provocam maior impacto ao problema;
7. Tomar ações corretivas.

As Sete Ferramentas da Qualidade



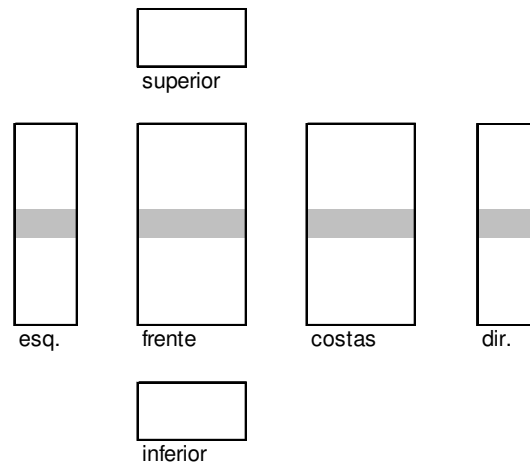
As Sete Ferramentas da Qualidade



As Sete Ferramentas da Qualidade

- Diagrama de Concentração de Defeitos

- É uma figura da unidade a ser produzida, mostrando todas os ângulos relevantes;
- Indica-se na figura onde podem ocorrer possíveis defeitos;
- Um estudo sobre a localização desses defeitos pode fornecer alguma informação útil sobre suas possíveis causas.



**Defeitos de acabamento
num refrigerador**

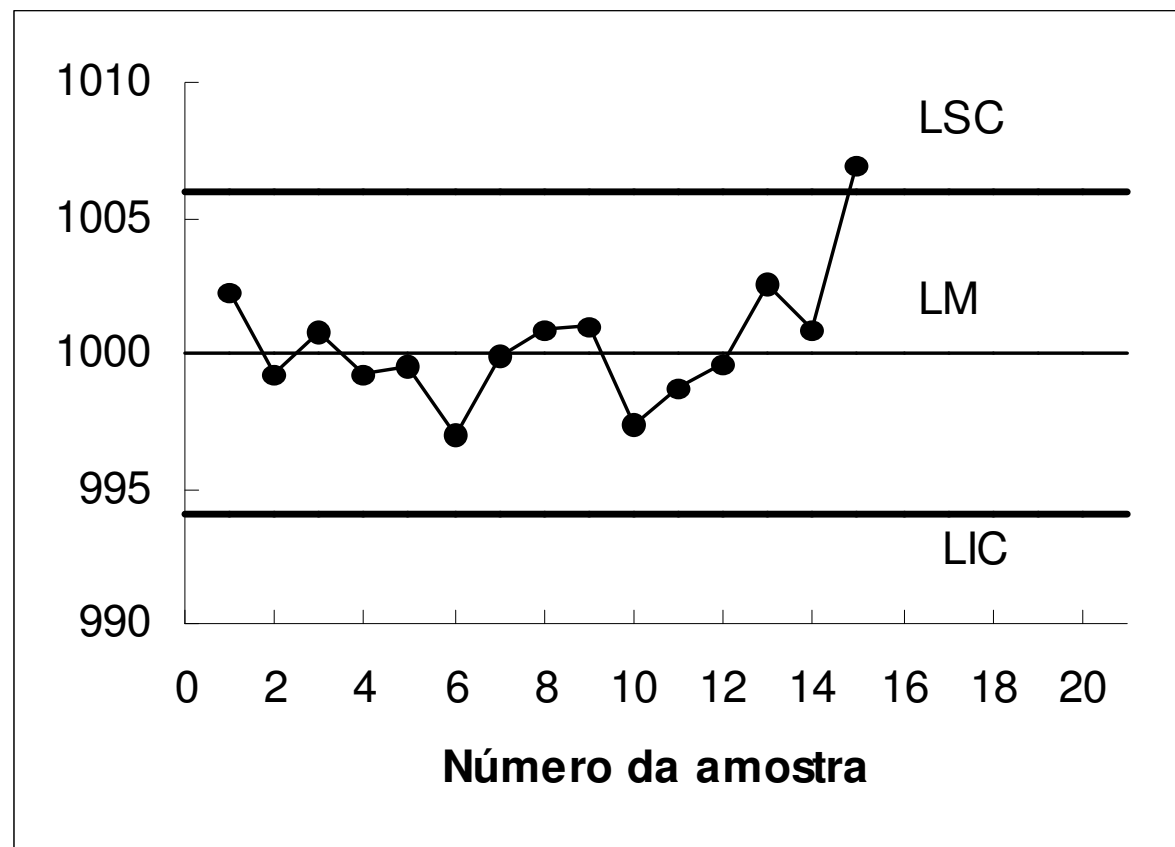
As Sete Ferramentas da Qualidade

- Diagrama de Dispersão
 - Gráfico útil para identificação de relações potenciais entre duas variáveis;
 - Problemas em uma variável podem levar a problemas em outras variáveis
 - Por exemplo:
 - X = umidade relativa do ar
 - Y = qtd. de bolhas na pintura de uma geladeira
 - Relação: o aumento na umidade relativa pode ocasionar mais bolhas na pintura.

As Sete Ferramentas da Qualidade

- Cartas de Controle
 - Desenvolvidas por Shewhart (1920);
 - Utilizadas para monitorar um processo, são construídas baseadas num histórico do processo em controle;
 - Possibilitam a supervisão do sistema;
 - Shewhart desenvolveu cartas para variáveis quantitativas e qualitativas (atributos);
 - Baseiam-se na suposição de normalidade;

As Sete Ferramentas da Qualidade





Vídeo

<https://www.youtube.com/watch?v=Fj87WXip3q0>

Causas da Variabilidade do Processo

- Todo processo possui variabilidade, que tem a ver com pequenas diferenças nas características dos produtos produzidos;
- Tal variabilidade é decorrente de
 - **Causas Aleatórias ou comuns;**
 - **Causas Atribuíveis ou especiais;**

Causas da Variabilidade do Processo

– Causas Aleatórias

- Pequenas perturbações no processo;
- Sempre existirá sendo, essencialmente, inevitável;
- Ex.: Temperatura, Umidade, Dilatação dos Equipamentos

- **Um processo que apresenta variabilidade apenas devido a causas aleatórias é um processo sob controle estatístico.**

Causas da Variabilidade do Processo

– Causas Atribuíveis

- Produzem variações nas características dos produtos em níveis **inaceitáveis**;
- Provocam deslocamento na média da característica monitorada ou aumento em sua dispersão;
- Ocorrem devido a máquinas mal ajustadas ou controladas de forma inadequada; erros do operador ou matéria prima fora das especificações;

- **Uma das principais finalidades do CEP é detectar mudanças no processo devido a causas atribuíveis, tomando rapidamente ações corretivas, de modo a minimizar a produção de *itens não conformes*.**

Causas da Variabilidade do Processo

- O gráfico de controle é a ferramenta mais utilizada para monitoramento do processo, objetivando detectar a presença de causas atribuíveis.
- Os gráficos de controle também podem ser utilizados para determinar a capacidade do processo (estimação do número de itens não-conformes de um processo).
- O gráfico de controle pode ainda fornecer informações úteis para a melhoria do processo.



VÍdeo

https://www.youtube.com/watch?v=gGncH_nCYmM&list=UUs7_1qf2pIPkoUnhylprecQ

Base Estatística do Gráfico de Controle

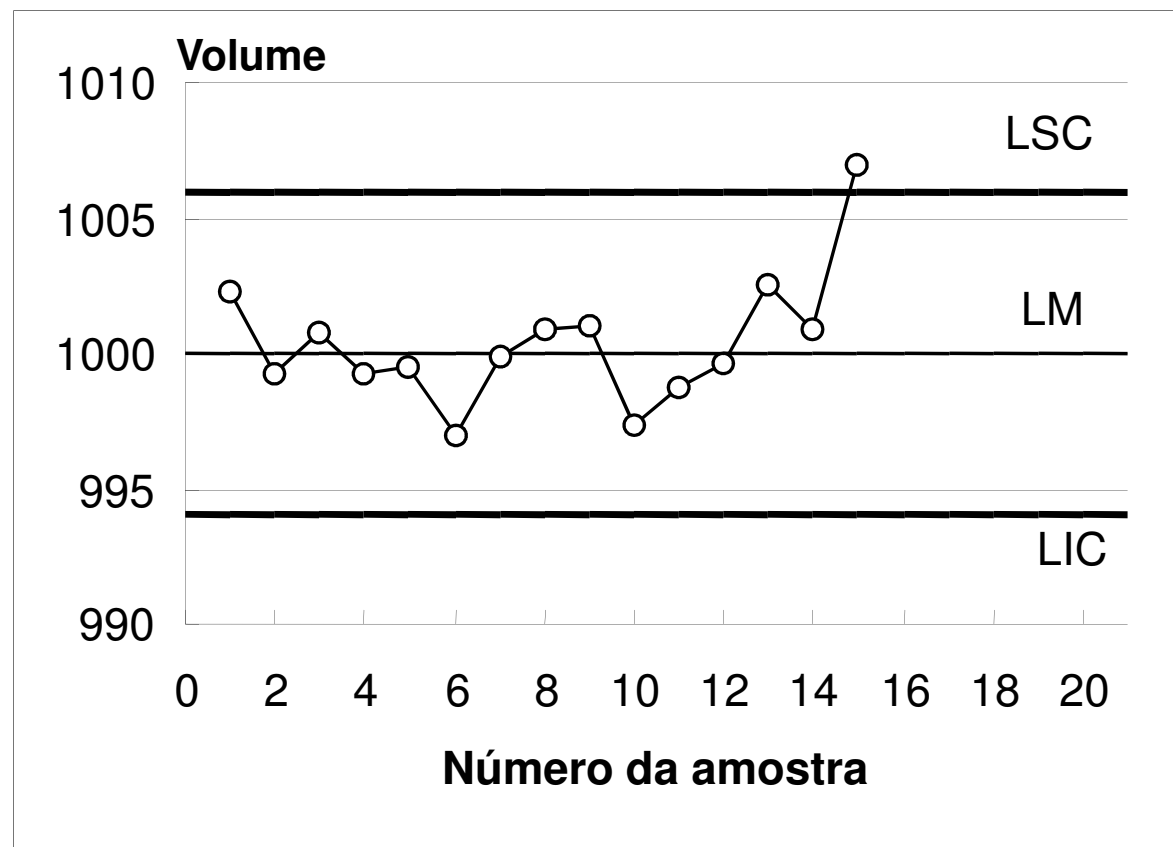
- O **gráfico de controle** é uma representação gráfica de uma característica da qualidade que foi medida ou calculada a partir de uma amostra.
- Baseando-se na **distribuição normal**, os gráficos de controle constituem um instrumento de diagnóstico da existência ou não de **variabilidade devido a causas atribuíveis**.

Base Estatística do Gráfico de Controle

– Elementos de um gráfico de controle

- **Abscissa (X):** ordem cronológica da amostra ou a sequência das extrações. Deste modo, a escala horizontal é uniforme e associada ao tempo;
- **Ordenada (Y):** representa os valores observados da característica da qualidade, que pode ser uma variável ou um atributo;
- **Linha média ou central (LM):** representa o valor médio da característica da qualidade quando em estado sob controle, ou seja, quando apenas causas aleatórias estão presentes;
- **Limites de Controle:** duas linhas horizontais denominadas limite inferior de controle (LIC) e limite superior de controle (LSC). São escolhidos de forma que, se o processo estiver sob controle, os pontos amostrais estarão entre eles;
- **Suposição:** os pontos amostrais devem ser **independentes**.

Base Estatística do Gráfico de Controle

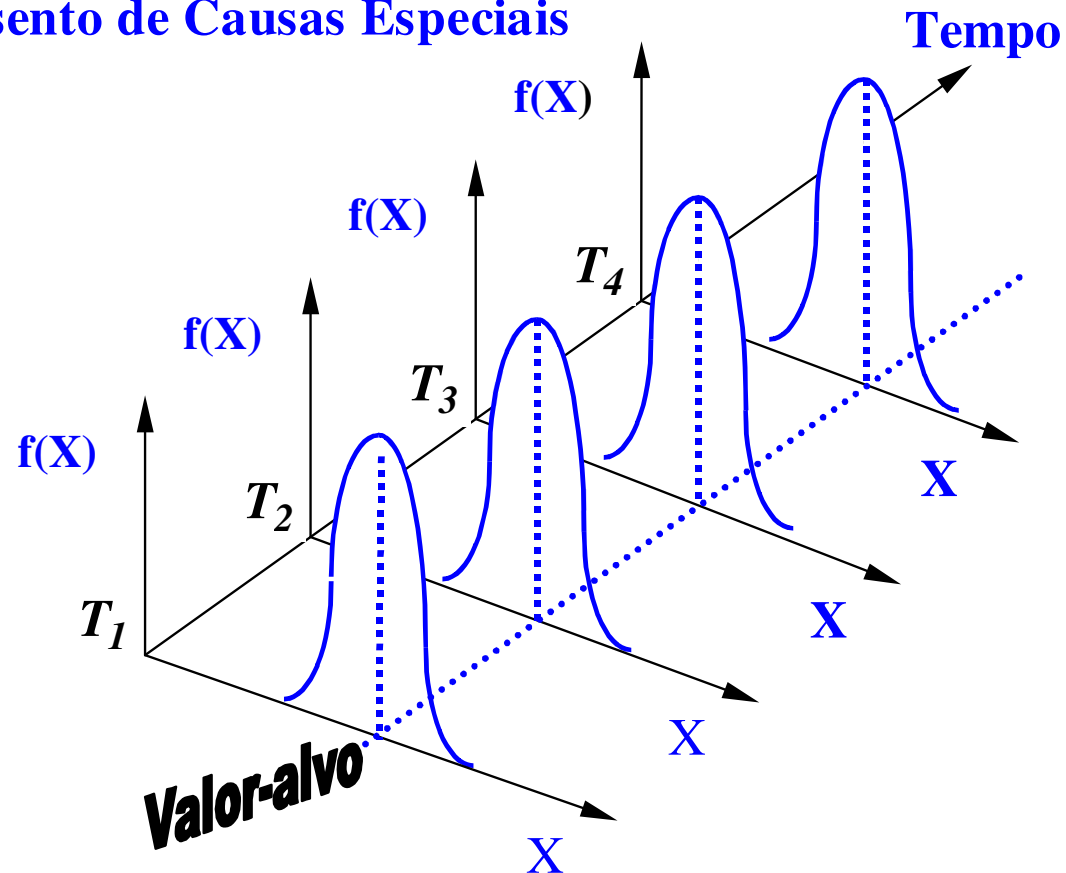


Base Estatística do Gráfico de Controle

- **Elementos de um gráfico de controle**
 - **Processo sob Controle**
 - Pontos amostrais entre os limites de controle ou sem apresentar um comportamento sistemático ou não-aleatório
 - Nenhuma ação precisa ser tomada
 - **Processo fora de Controle**
 - Presença de pontos fora dos limites de controle ou presença de padrões não-aleatórios no gráfico
 - Realizar investigação para descobrir a possível causa
 - Geralmente, faz-se necessária uma ação corretiva para que tal fato não se repita.
- Posteriormente, iremos conhecer técnicas para detectar a presença de padrões não-aleatórios em gráficos de controle.

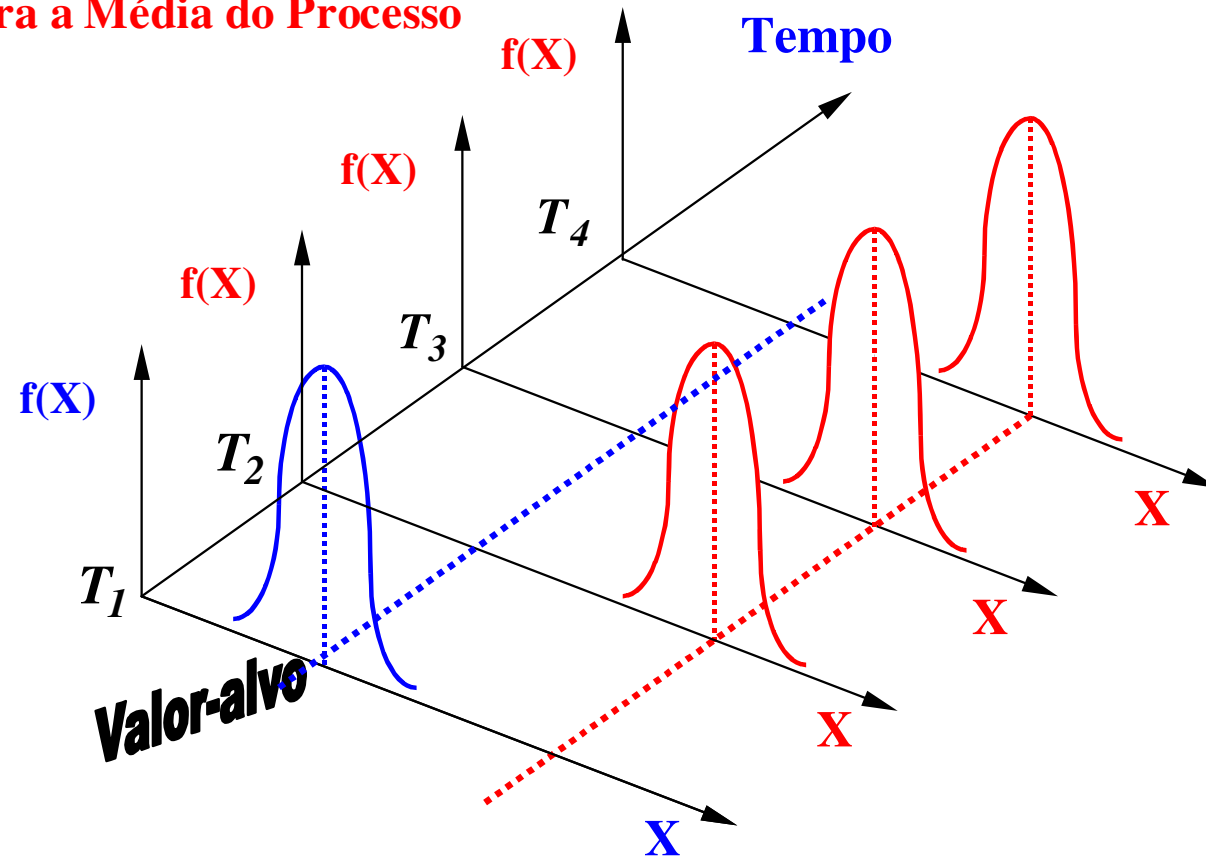
Base Estatística do Gráfico de Controle

Processo Isento de Causas Especiais



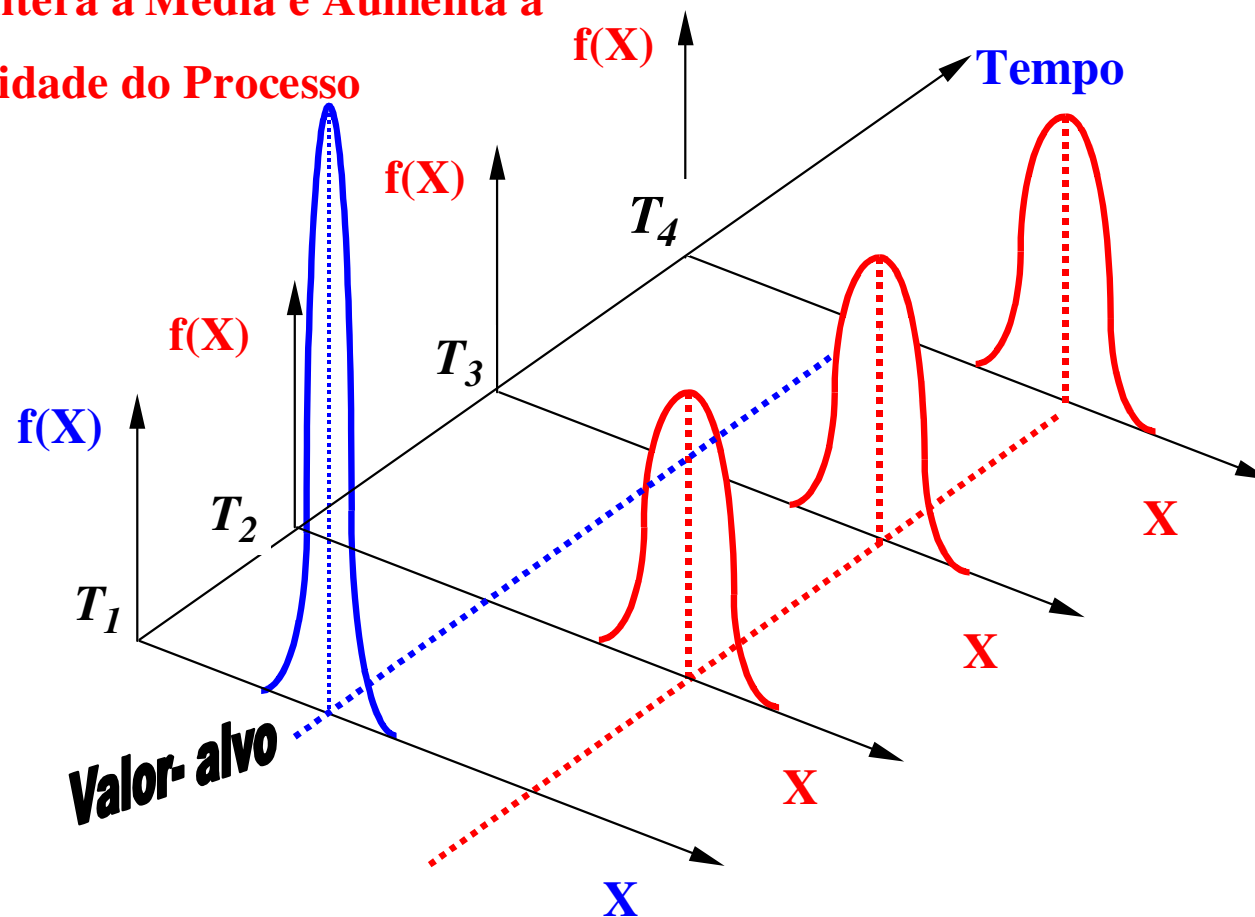
Base Estatística do Gráfico de Controle

Causa Especial Altera a Média do Processo



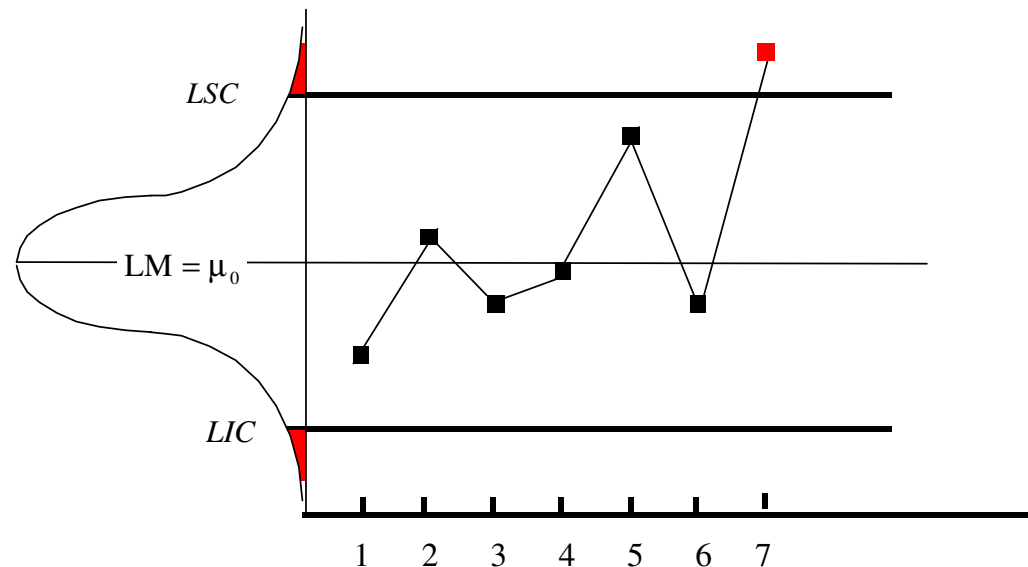
Base Estatística do Gráfico de Controle

Causa Especial Altera a Média e Aumenta a Variabilidade do Processo



Relação entre o Gráfico de Controle e o Teste de Hipóteses

- **Suposição**
 - Suponha que o eixo vertical seja a média amostral \bar{x}
 - Seja H_0 : processo sob controle
- Caso $LIC \leq \bar{x} \leq LSC \Rightarrow$ Processo sob Controle. Logo, **não há evidências para rejeitar H_0** , ou seja, $H_0: \mu = \mu_0$.



Relação entre o Gráfico de Controle e o Teste de Hipóteses

- A região entre os limites de controle equivale a região de **NÃO** rejeição de H_0 , enquanto que a região FORA dos limites representa região de rejeição de H_0 ;
- **Prob. de Erro Tipo I (α)**: concluir que o processo está fora de controle, quando na verdade ele está sob controle;
- **Prob. de Erro Tipo II (β)**: concluir que o processo está sob controle, quando na verdade ele está fora controle (mais custoso para a empresa);

Relação entre o Gráfico de Controle e o Teste de Hipóteses

- Tal relação será útil na **análise de desempenho** do gráfico de controle
 - Habilidade do gráfico em detectar mudanças no processo
 $\mu = \mu_0 + \delta$;
 - **Curva Característica de Operação (CO)**: conjunto de curvas em que calculamos os valores de β , para um α fixo, e diferentes valores de n (amostra) e δ .
- **Diferenças entre Testes de Hipóteses (TH) e Gráficos de Controle (GC)**
 - TH - verifica a validade de suposições: será que o parâmetro μ da minha população é igual (*maior ou menor*) a μ_0 ?
 - GC: verificar a estabilidade do processo

Relação entre o Gráfico de Controle e o Teste de Hipóteses

- As causas atribuíveis podem resultar em diferentes tipos de mudança nos parâmetros.
 1. A média pode mudar para um novo valor e permanecer neste valor a partir daí;
 2. A média pode mudar para um novo valor, mas a causa atribuível poderá ser de curta duração e a média pode retornar ao valor sob controle;
 3. A causa atribuível pode resultar em um deslocamento constante ou tendência no valor da média.
- ❖ Note que apenas o primeiro caso está de acordo ao modelo usual do teste de hipótese.

Exemplo 1

- Em uma fábrica de anéis de pistão para motores de automóveis, uma característica crítica da qualidade é o **diâmetro interno do anel**.
- O processo pode ser controlado em um diâmetro médio de 74mm, com um desvio padrão de 0.01mm. A cada hora, extrai-se uma amostra aleatória de cinco anéis. Deste modo, tem-se que

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0.01}{\sqrt{5}} \approx 0.0045,$$

- e limites de controle

$$LIC = 74 - Z_{\frac{\alpha}{2}}\sigma_{\bar{X}} = 74 - 3 \times 0.0045 = 73.9865$$

$$LSC = 74 + Z_{\frac{\alpha}{2}}\sigma_{\bar{X}} = 74 + 3 \times 0.0045 = 74.0135$$

Exemplo 1

- Tais limites de controle, equivalem em estabelecer as regiões de aceitação e rejeição para um teste de hipóteses

$$H_0 : \mu = 74$$

$$H_1 : \mu \neq 74$$

- Assim, determinados os limites de controle, o gráfico de controle testa esta hipótese repetidamente, para cada amostra retirada ao acaso no processo.

Gráficos de Controle Shewhart

- De modo geral, temos que:
 - Seja **T um estimador** de alguma característica da qualidade de interesse, com $\mu_T = E(T)$ e $\sigma_T = \sqrt{Var(T)}$, então

$$LIC = \mu_T - L\sigma_T$$

$$LM = \mu_T$$

$$LSC = \mu_T + L\sigma_T$$

em que **L** é a distância dos limites de controle à linha média, expressa em unidades de desvio-padrão.

- Os gráficos de controle que seguem essa forma geral são denominados **gráficos de controle de Shewhart**.

Limites de Controle

- Os limites dos gráficos de controle são determinados com base na **média** e no **desvio padrão** da variável X quando o **processo** está **isento de causas atribuíveis**.
- A média deve coincidir com o valor alvo especificado no projeto. Entretanto, há situações em que esse valor não é definido a priori.
 - Exemplo: tempo de atendimento em um fast-food.
- **A escolha dos limites de controle é uma tarefa crítica na construção dos gráficos de controle:**
 - Se **L** é grande
 - Erro tipo I ↓
 - Erro tipo II ↑
 - Se **L** é pequeno
 - Erro tipo I ↑
 - Erro tipo II ↓

Limites de Controle

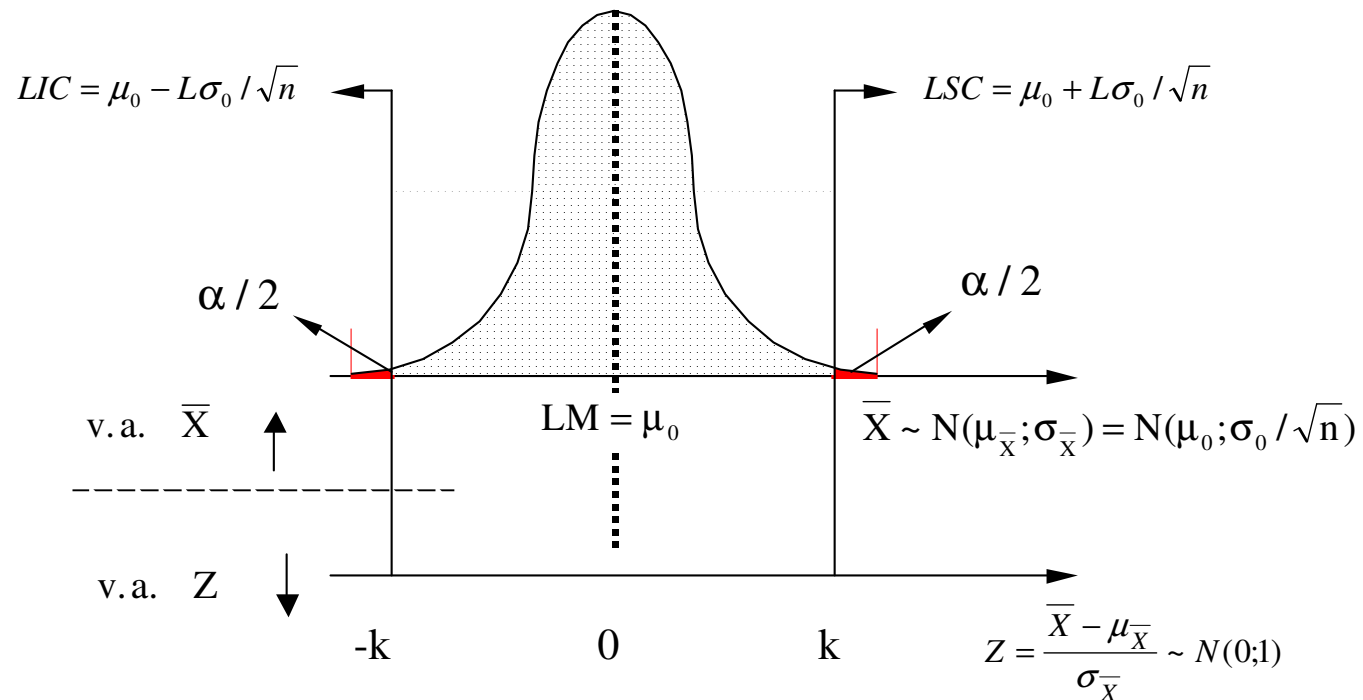
- Note que no exemplo 1, utilizamos $L = 3$.
- **Teorema Central do Limite:** Para grande amostras, a distribuição das médias amostrais será aproximadamente normal, logo

$$\frac{\bar{X} - LM}{\sigma_{\bar{X}}}$$

tem distribuição normal-padrão.

- Logo, para $L = 3$, a probabilidade de um ponto cair fora dos limites de controle sinalizando incorretamente um estado fora de controle (erro tipo I) é de $2 \cdot 0.00135 = 0,0027$.
- Assim, um sinal incorreto de que o processo está fora de controle será gerado a cada 370 pontos amostrais aproximadamente.

Limites de Controle



Tradicionalmente $L=3$

$$\alpha = P(Z < -k) + P(Z > k)$$

Limites de Controle

Limites de Probabilidade

- Processo inverso ao apresentado anteriormente
- Basta especificar um **erro tipo I** e depois determinar os limites correspondentes.
- No exemplo 1, se especificarmos um erro tipo I $\alpha = 0,001$, isto é, um falso alarme a cada 1000 pontos amostrais, teremos os seguintes limites de controle:

$$LIC = 74 - Z_{\frac{0,001}{2}} \sigma_{\bar{X}} = 74 - 3.29 \times 0.0045 = 73.9852$$

$$LSC = 74 + Z_{\frac{0,001}{2}} \sigma_{\bar{X}} = 74 + 3.29 \times 0.0045 = 74.0148$$

Limites de Controle

Curiosidade

- Nos EUA, é prática padrão determinar os limites de controle como um múltiplo do desvio-padrão, em geral $L = 3$. Daí, os limites 3 sigmas serem normalmente empregados em gráficos de controle;
- No Reino Unido e em partes da Europa Ocidental, os limites de probabilidade são mais usados, geralmente considerando $\alpha = 0,001$.

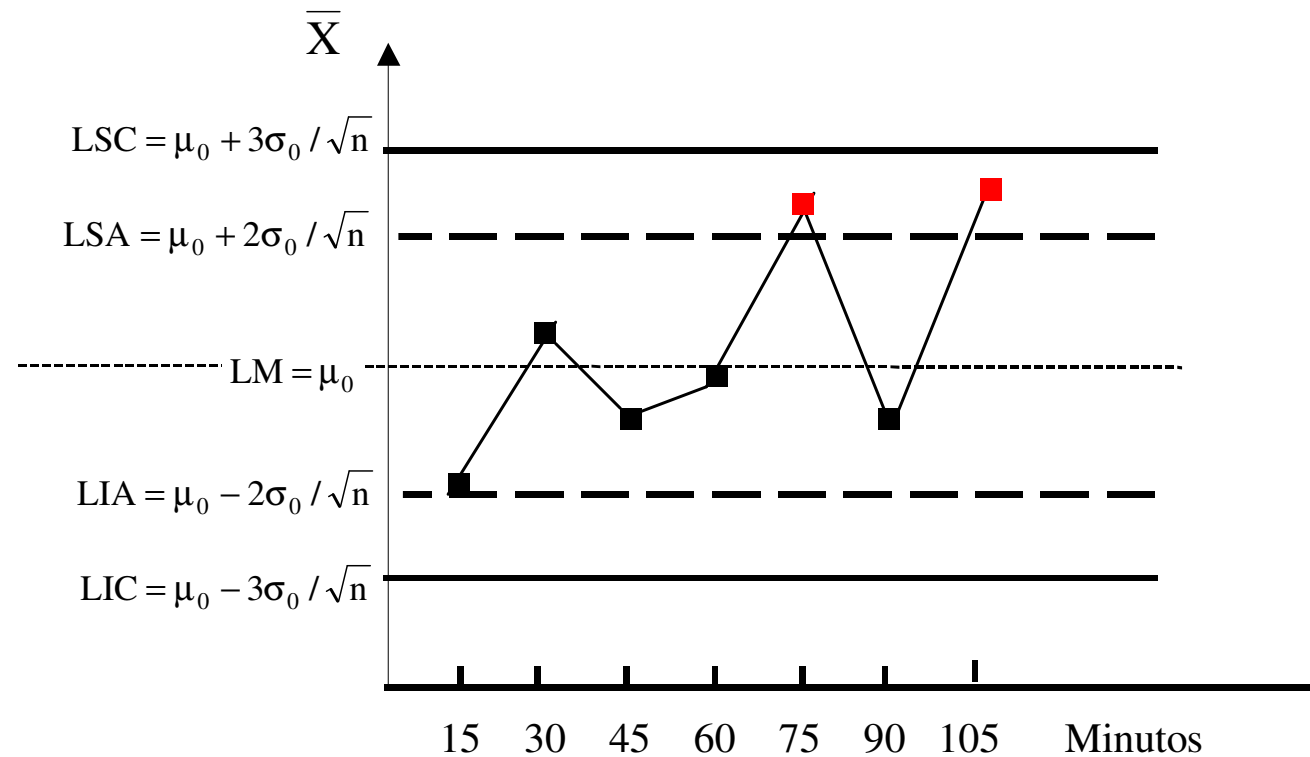
Limites de Controle

Limites de Alerta

- Alguns analistas sugerem o uso de dois conjuntos de limites em gráficos de controle;
- **Limites de ação** ou 3-sigma (LIC e LSC): quando um ponto se situa fora desses limites, procura-se uma causa atribuível e toma-se uma ação corretiva;
- **Limites de alerta** ou 2-sigma: se um ou mais pontos se situam entre os limites de alerta e de controle, devemos suspeitar de que o processo pode não estar operando adequadamente;
- **Ponto Positivo: aumentar a sensibilidade do gráfico;**
- **Ponto Negativo: pode gerar um aumento do risco de alarmes falsos.**

Limites de Controle

Limites de Alerta





VÍdeos

<https://www.youtube.com/watch?v=CrCpN78fYtM>

Tamanho de Amostra e Frequência de Amostragem

- No planejamento de um gráfico de controle, devemos especificar tanto o **tamanho da amostra** a ser usada, quanto a **frequência de amostragem**;
- Tais aspectos tem impacto direto no poder em que os gráficos terão em detectar mudanças no processo;
- **Tamanho da Amostra**: corresponde ao número de itens que serão selecionados para medição da característica da qualidade de interesse;
- **Frequência de Amostragem**: corresponde ao intervalo de tempo entre a seleção de duas amostras.

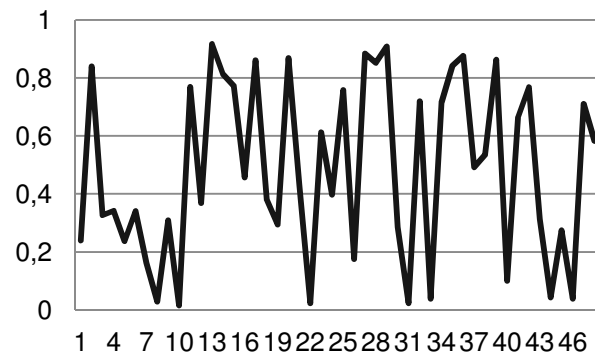
Tamanho de Amostra e Frequência de Amostragem

Tamanho da Amostra

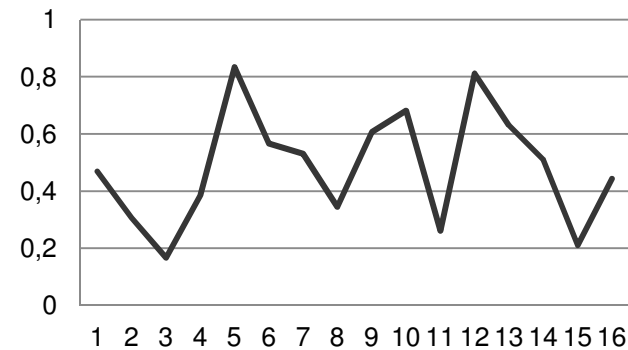
- Na escolha do tamanho da amostra, devemos ter em mente a magnitude da mudança que queremos detectar;
 - O tamanho da amostra é inversamente proporcional ao tamanho da mudança que deseja-se detectar;
 - **Amostras maiores** permitirão detectar **pequenas mudanças** no processo;
 - Se a **mudança** no processo que deseja-se detectar for relativamente **grande**, então deve-se utilizar tamanhos de **amostra menores** do que aquelas que usaríamos para detectar mudanças no processo relativamente menores.

Tamanho de Amostra e Frequência de Amostragem

Dados originais

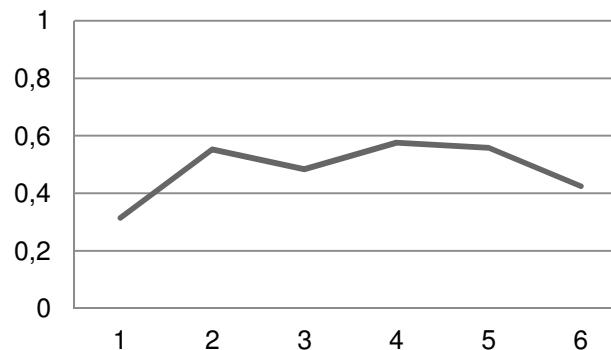


Amostra n=3



Amostra pequena, detecta grandes mudanças na média do processo

Amostra n=8



Amostra grande, detecta pequenas mudanças na média do processo

Tamanho de Amostra e Frequência de Amostragem

Frequência de Amostragem

- **Ideal:** tomar grandes amostras em pequenos intervalos de tempo
 - Não é factível economicamente;
 - Necessita a alocação de um grande esforço de amostragem;
- **Prática Industrial:** tomar pequenas amostras, mais frequentemente
 - Evolução tecnológica vem favorecendo esse tipo de prática.

Tamanho de Amostra e Frequência de Amostragem

Desempenho do Gráfico de Controle

- **Comprimento Médio da Sequência (CMS):** é o número médio de pontos que devem ser marcados antes que um ponto irregular indique uma condição de fora de controle

$$CMS = \frac{1}{p}$$

p = prob. que um pto exceda os limites de controle

- O comprimento da sequência para um gráfico de controle provêm de uma distribuição geométrica
- **Consequências**
 - O desvio padrão é muito grande
 - A distribuição é muito assimétrica.

Tamanho de Amostra e Frequência de Amostragem

Desempenho do Gráfico de Controle

- O Comprimento Médio da Sequência (CMS_0), quando o processo está sob controle é:

$$CMS_0 = \frac{1}{p}$$

Isto é, mesmo que o processo permaneça sob controle, um sinal de fora de controle (falso alarme) será emitido a cada CMS_0 amostras, em média.

Tamanho de Amostra e Frequência de Amostragem

Desempenho do Gráfico de Controle

- **Tempo Médio para Alerta (TMA)** – Se amostras são tomadas a intervalos fixos de tempo, de h horas, então:

$$TMA = CMS \times h$$

h = intervalo de tempo entre amostras

Subgrupos Racionais

Definição

- Segundo Shewhart, subgrupos ou amostras devem ser selecionadas de tal modo que, se estiverem presentes causas atribuíveis
 - **A chance de diferença entre subgrupos será maximizada e**
 - **A chance de diferença devido a essas causas dentro de um subgrupo será minimizada**
- Usam-se duas abordagens gerais para construção de subgrupos racionais

Subgrupos Racionais

Abordagem 1

- Cada amostra consiste em **unidades** que foram **produzidas** ao **mesmo tempo** (ou tão próximo possível);
- Assim, minimiza-se a chance de variabilidade dentro da amostra e maximiza a chance entre amostras.
- Usa-se essa abordagem quando o objetivo principal é detectar mudanças no processo.

Subgrupos Racionais

Abordagem 2

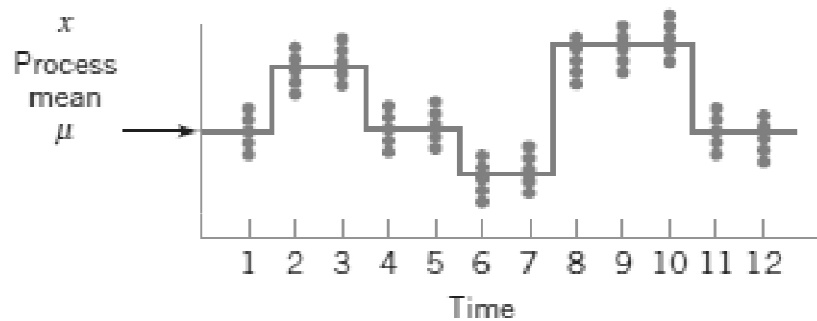
- Cada subgrupo consiste em unidades do produto que são representativas de todas as unidades produzidas **desde a última amostragem**;
- Logo, cada subgrupo é uma amostra aleatória de toda saída do processo durante o intervalo de amostragem;
- Usa-se essa abordagem quando o objetivo principal é decidir sobre a aceitação de todas as unidades do produto (aceitar um lote, por exemplo) que foram produzidas desde a última amostra;

Subgrupos Racionais

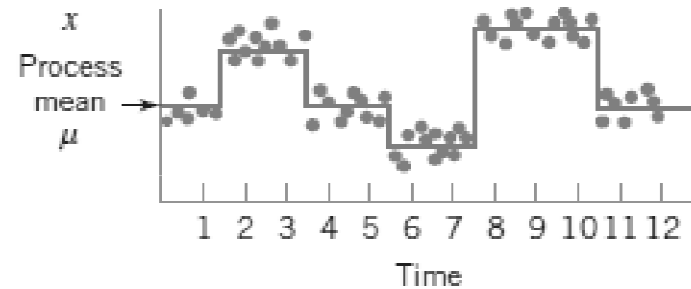
Considerações

- Se o processo muda para um estado fora de controle e volta a um estado de controle *entre* amostras, a abordagem 1 será ineficaz.
- Já a abordagem 2 poderá produzir limites de controle relativamente grandes. Isso pode ocorrer devido a uma oscilação na média do processo durante os intervalos entre amostras, o que resultaria num aumento de variabilidade.

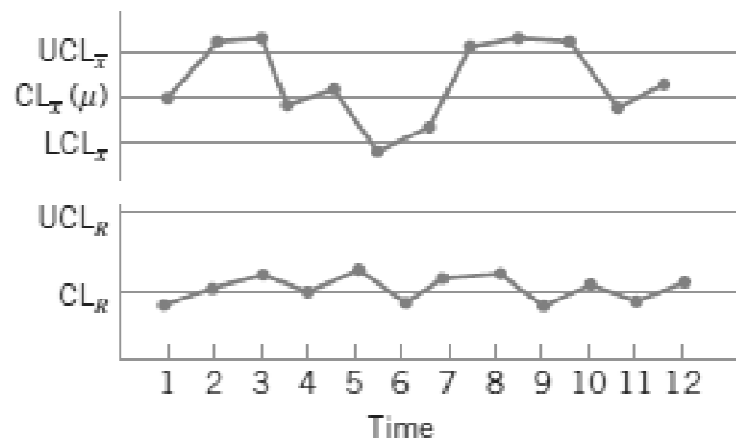
Subgrupos Racionais



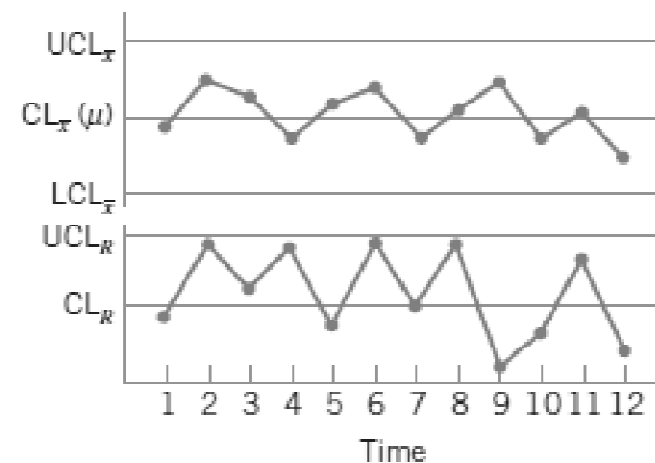
(a)



(a)



(b)



(b)

Análise de Padrões em Gráficos de Controle

- Um gráfico de controle pode indicar uma **condição fora de controle** quando
 - Um ou mais pontos se localizam fora dos limites de controle, ou
 - Quando os pontos marcados exibem algum padrão de comportamento não-aleatório;
- Em 1956, a *Western Electric* sugeriu um conjunto de regras que sugerem uma condição fora de controle

Análise de Padrões em Gráficos de Controle

Regras para os Gráficos de Controle Shewhart

1. Um ou mais pontos fora dos limites de controle.
2. Dois, de três pontos consecutivos, fora dos limites de alerta (2-sigma).
3. Quatro, de cinco pontos consecutivos, além dos limites 1-sigma.
4. Uma sequência de oito pontos consecutivos de um mesmo lado da linha central.
5. Seis pontos de uma sequência em tendência crescente ou decrescente.
6. Quinze pontos em sequência na faixa entre ± 1 -sigma.
7. Quatorze pontos em sequência alternadamente para cima e para baixo.
8. Oito pontos em sequência de ambos os lados da linha central, com nenhum deles acima de 3-sigma.
9. Um padrão não-usual ou não aleatório nos dados.
10. Um ou mais pontos perto dos limites de alerta ou de controle.

Análise de Padrões em Gráficos de Controle

Considerações

- O objetivo dessas regras é de aumentar a sensibilidade dos gráficos de controle;
- No entanto, deve-se tomar muito cuidado em utilizar essas regras, visto que podem ocorrer um número excessivo de falsos alarmes;
- Além disso, o excesso de regras ocasiona a perda da simplicidade implícita nos gráficos de controle;
- **Isso pode tornar o programa do CEP ineficaz.**

Exemplo

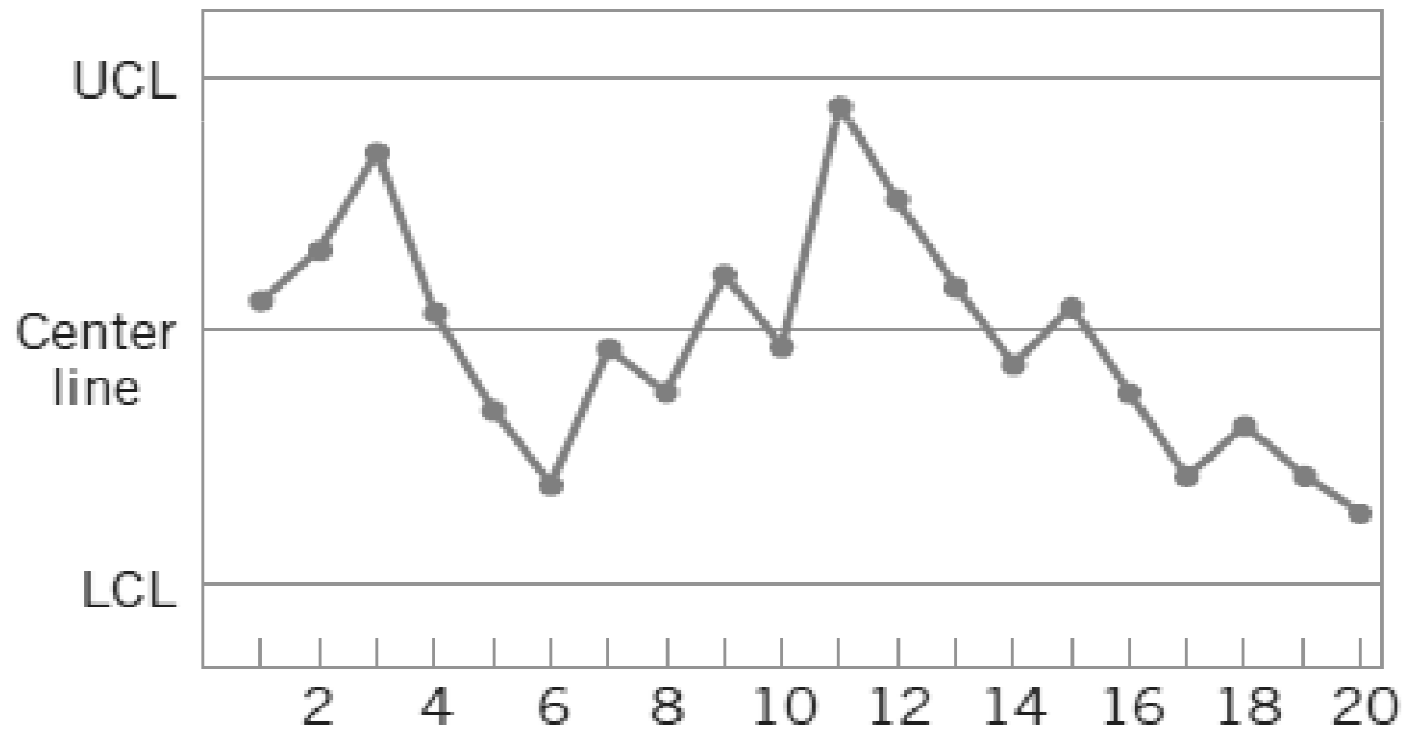
A título de ilustração, para o gráfico \bar{X} com os limites três-sigma, $p=0,0027$ é a probabilidade de que um único ponto caia fora dos limites, quando o processo está sob controle.

Determinar o CMS e o TMA (considerando que as amostras são coletadas a cada 20 minutos)

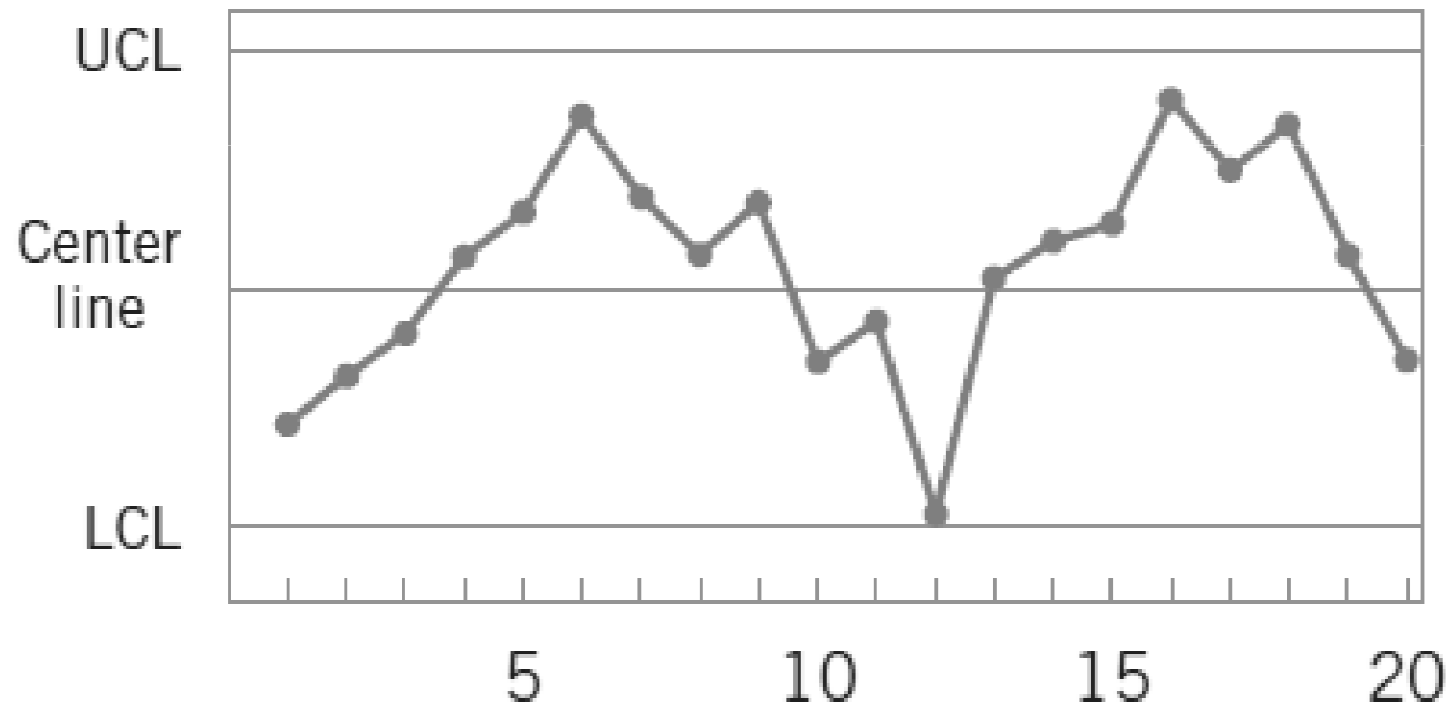
Exemplo

Para o gráfico \bar{X} com os limites de probabilidade 0,001, quando o processo está sob controle, determine o CMS e o TMA (considerando que as amostras são coletadas a cada 1 hora)

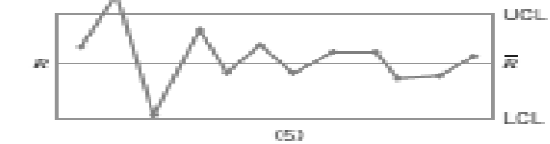
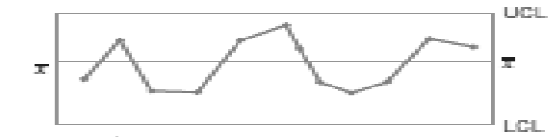
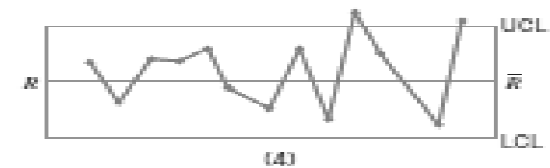
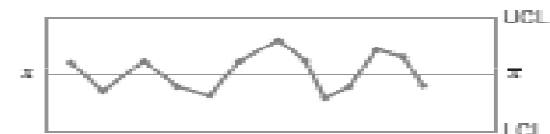
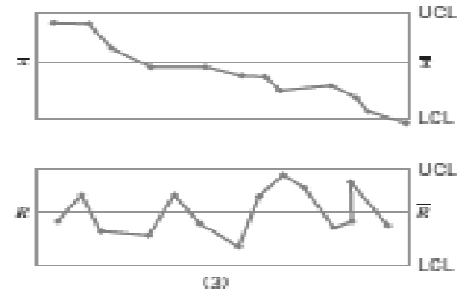
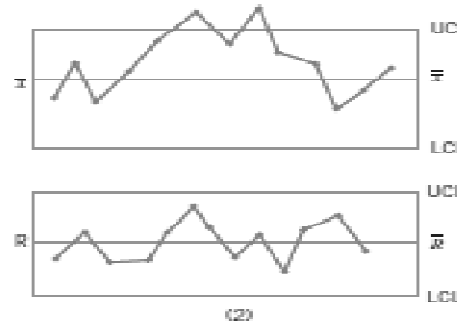
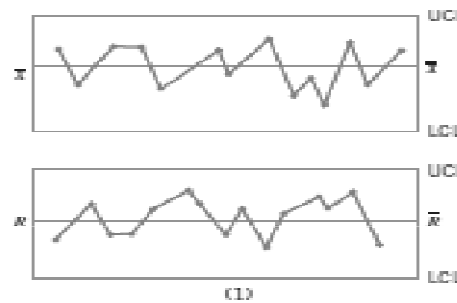
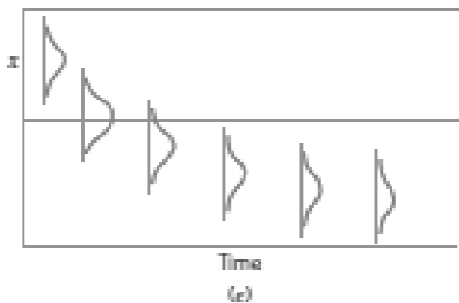
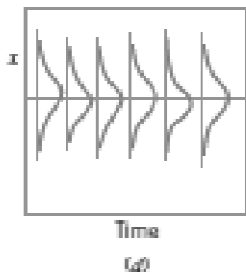
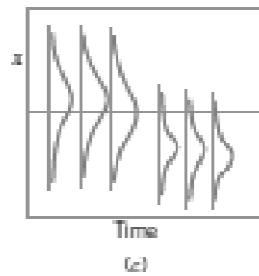
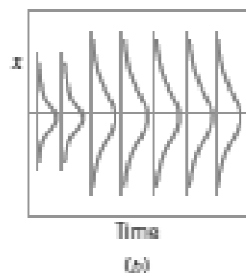
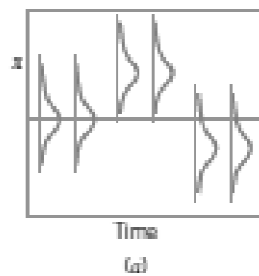
Exercício – O padrão parece ser aleatório?



Exercício – O padrão parece ser aleatório?



Exercício – Associe cada padrão de desempenho aos correspondentes gráficos



Exercício

Em uma fábrica de anéis de pistão para motores de automóveis, uma característica crítica da qualidade é o diâmetro interno do anel. O processo pode ser controlado em um diâmetro interno médio de 74 mm, e sabe-se que o desvio padrão do diâmetro do anel é de 0,01 mm. Considere que o diâmetro do anel é normalmente distribuído, e que o tamanho da amostra é $n=5$.

- a) Determine os limites de controle dois-sigma.
- b) Suponha que tenha sido sugerido o limite de dois-sigma, em vez dos limites típicos de três-sigma. Que efeito o uso dos limites dois-sigma teria sobre o CMS sob controle do gráfico?

Exercício

Um processo de moldagem usa um molde com cinco cavidades para uma peça usada em uma montagem automotiva. A espessura das paredes da peça é uma característica crítica da qualidade. O processo pode ser controlado em uma espessura média de 1 mm, e sabe-se que o desvio padrão da espessura das paredes da peça é de 0,01 mm. Considere que a espessura das paredes da peça é normalmente distribuído, e que o tamanho da amostra é $n=8$.

- a) Determine os limites de controle de probabilidade 0,001 e os limites de controle três-sigma.
- b) Qual o efeito do uso dos limites de probabilidade e três-sigma quando o processo está sob controle na ocorrência de alarme falso?