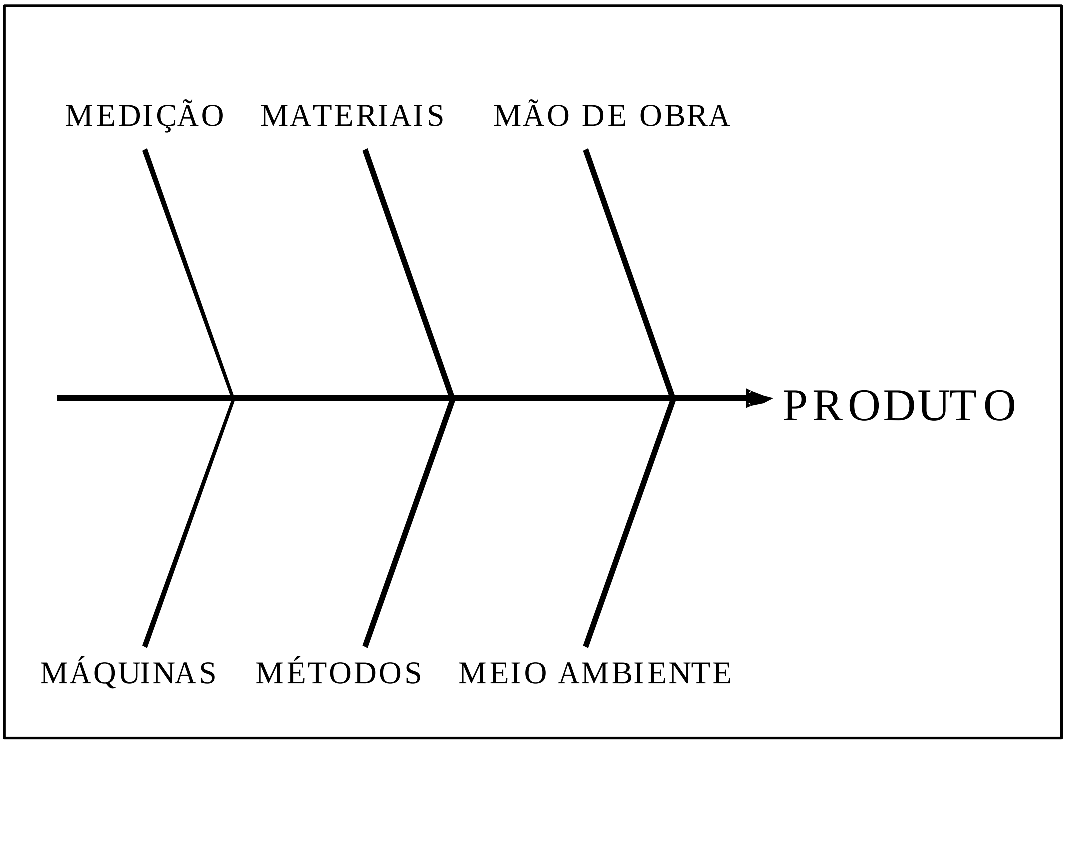
Controle Estatístico de Processo

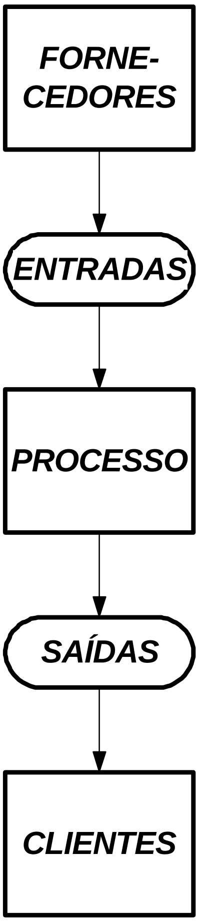
PROF. ALBERTO W. RAMOS

O QUE É UM PROCESSO ?

- conjunto de atividades executadas com um certo objetivo ou finalidade
- conjunto de causas que gera um (ou mais) efeitos



COMPONENTES DO PROCESSO



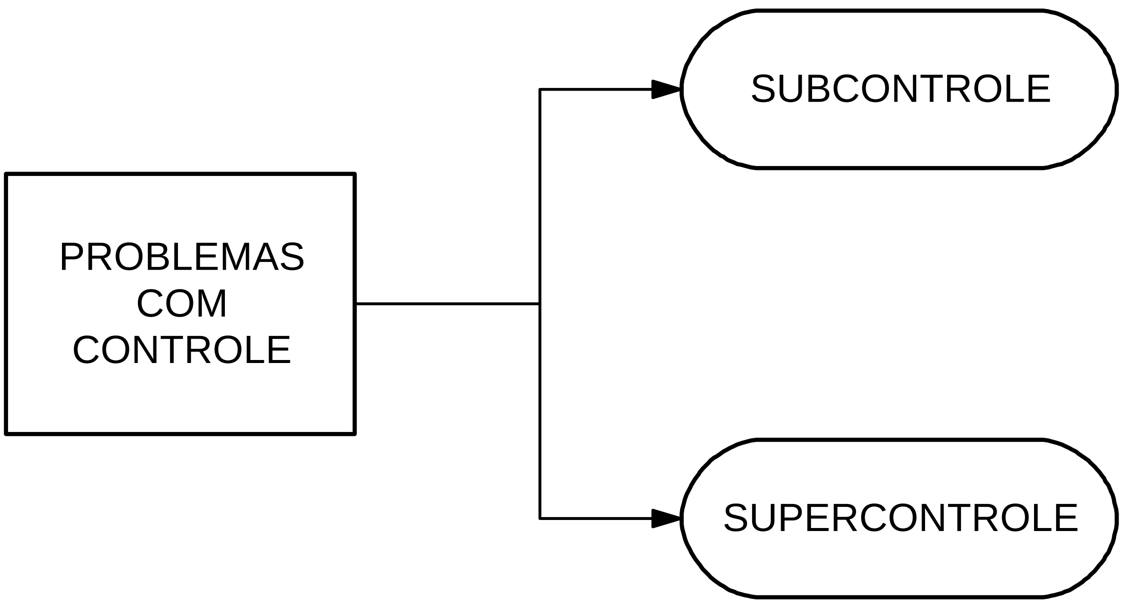
QUESTÕES ESTRATÉGICAS PARA QUALIDADE

1) Quem são os meus clientes ?
2) Quais são as suas necessidades ?
3) Como posso satisfazê-los ?
4) Como mantê-los permanentemente satisfeitos ?

O QUE SIGNIFICA CONTROLE ?

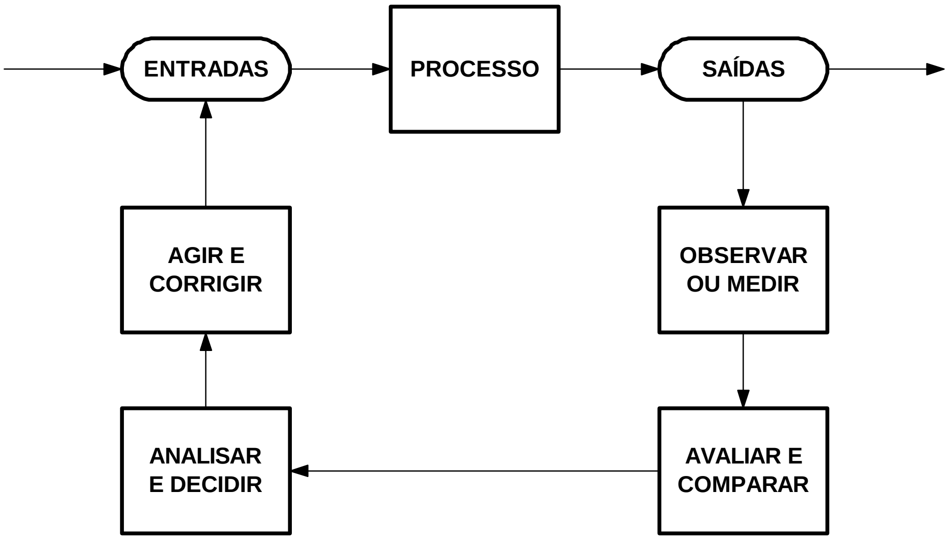
A palavra controle pode ter dois significados distintos:

- sentido de *vigilância*
- sentido de *ajuda*

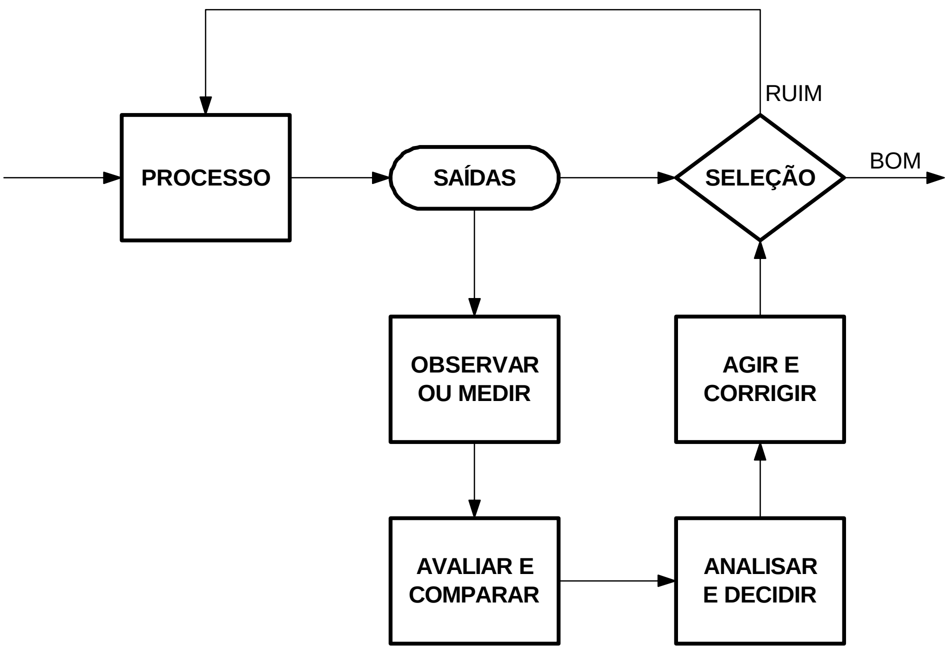


PREVENÇÃO x DETECÇÃO

CONTROLE DO PROCESSO (PREVENÇÃO)



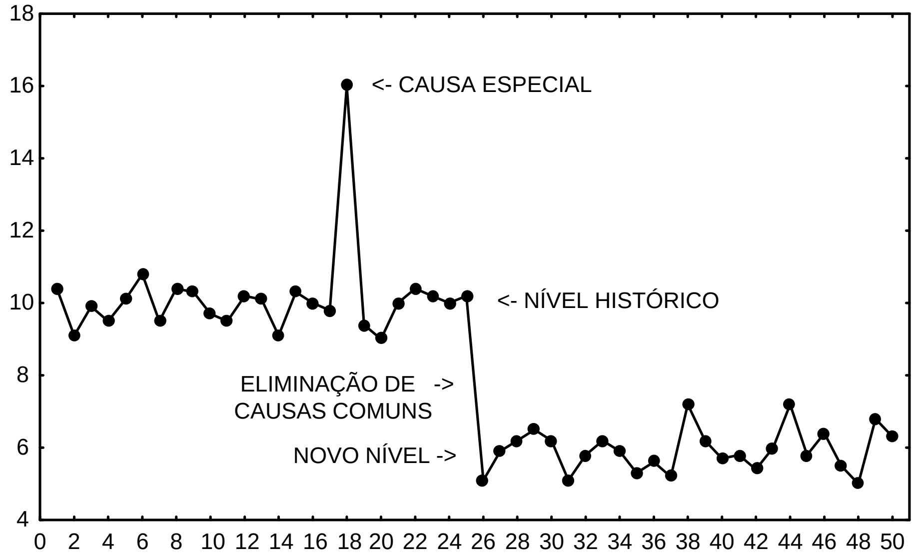
CONTROLE DO PRODUTO (DETECÇÃO)



O QUE É ESTATÍSTICA ?

Estatística é a ciência que estuda a variação. Auxilia a descobrir as causas de variação, permitindo tomar ações com base em ***fatos,*** e não ***opiniões***.

CAUSAS DE VARIAÇÃO: COMUNS E ESPECIAIS

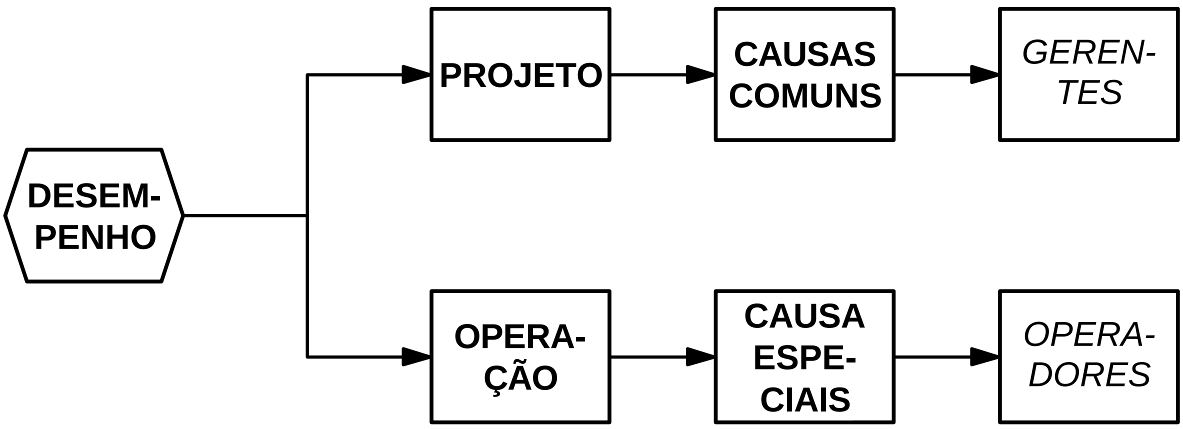


COMPARAÇÃO ENTRE CAUSAS COMUNS E CAUSAS ESPECIAIS

ASPECTO	*CAUSAS ESPECIAIS*	*CAUSAS COMUNS*
Perdas Monetárias	Pequenas	Grandes
Visibilidade do problema	Grande - A natureza súbita chama a atenção de todos	Pequena - A natureza contínua faz com que todos se acostumem ao problema
Ação Requerida	Restabelecer o nível anterior	Mudar para nível melhor
Dados	Simples, coleta rotineira e muito freqüente	Complexos, coleta especial e pouco freqüente
Análise	Simples e feita por pessoal próximo ao processo	Complexa e feita por pessoal técnico
Responsabilidade pela Ação	Executantes (pessoal próximo ao processo)	Planejadores (pessoal da gerência)

IMPACTO NO DESEMPENHO DO PROCESSO

A ***maioria dos problemas*** de qualidade tem a sua origem em ***causas comuns*** (problemas de projeto) e não em causas especiais (problemas de operação)



Exemplos de ***causas especiais*** da variação

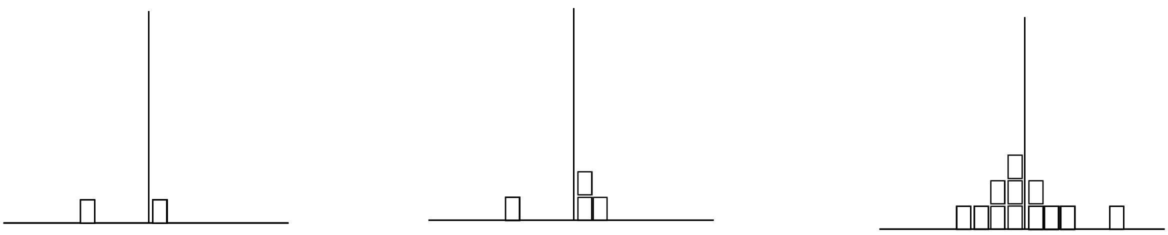
- Lote isolado de matéria-prima com problema
- Desregulagem ocasional do equipamento de produção
- Quebra de equipamento de medição

Exemplos de ***causas comuns*** de variação

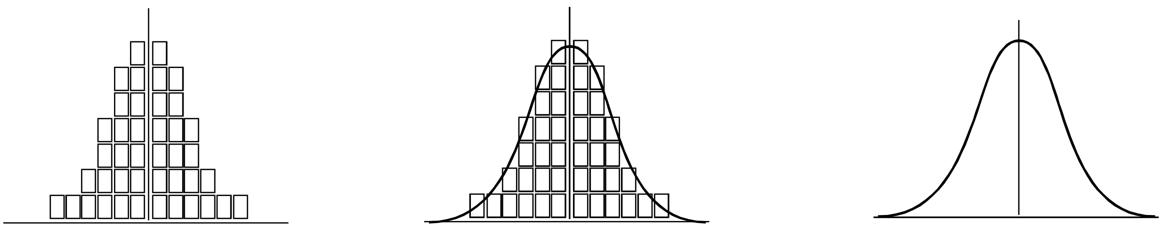
- Compra sistemática de materiais com baixa qualidade
- Inexistência de treinamento
- Falta de padronização das operações

AUSÊNCIA DE CAUSAS ESPECIAIS

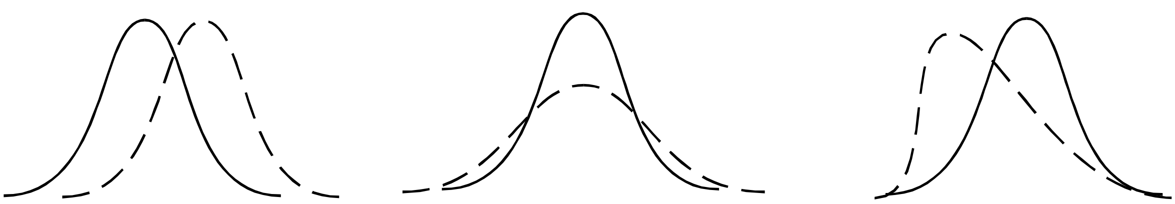
Os produtos podem ser diferentes entre si



Mas, num processo estável, há um padrão de variação (distribuição)

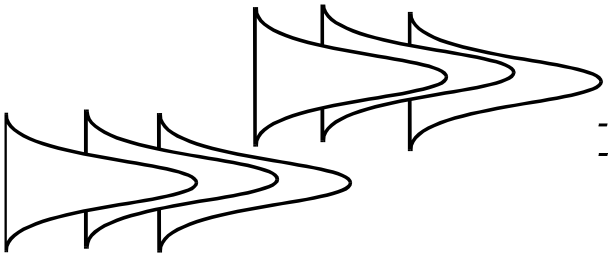


Distribuições podem diferir umas da outras quanto a



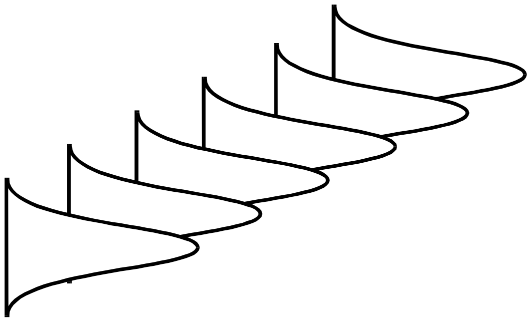
Centralização Variabilidade Forma

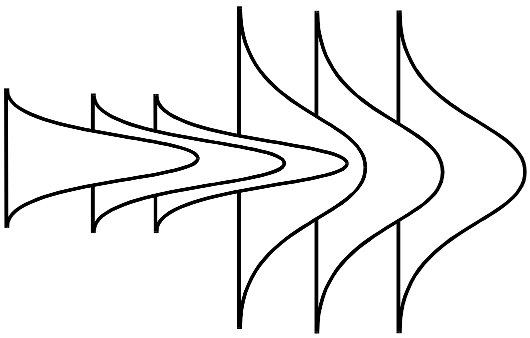
ALGUNS EXEMPLOS DE EFEITOS DE CAUSAS ESPECIAIS



- DESLOCAMENTO DA MÉDIA
- VARIABILIDADE CONSTANTE

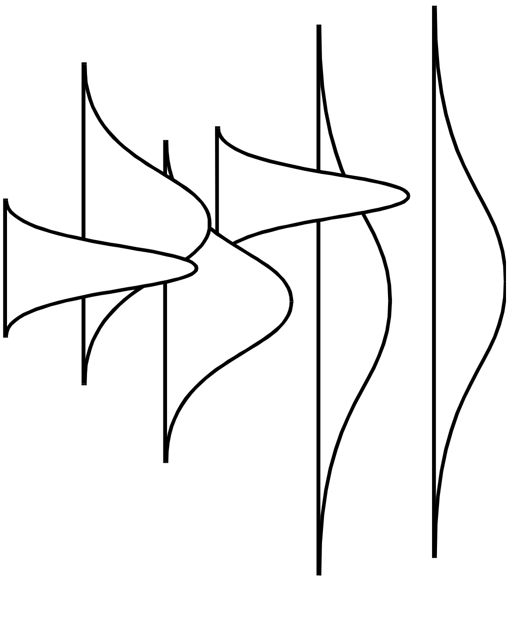
- TENDÊNCIA NA MÉDIA
- VARIABILIDADE CONSTANTE





- MÉDIA ESTÁVEL
- AUMENTO DA VARIABILIDADE

- MÉDIA INSTÁVEL
- VARIABILIDADE INSTÁVEL

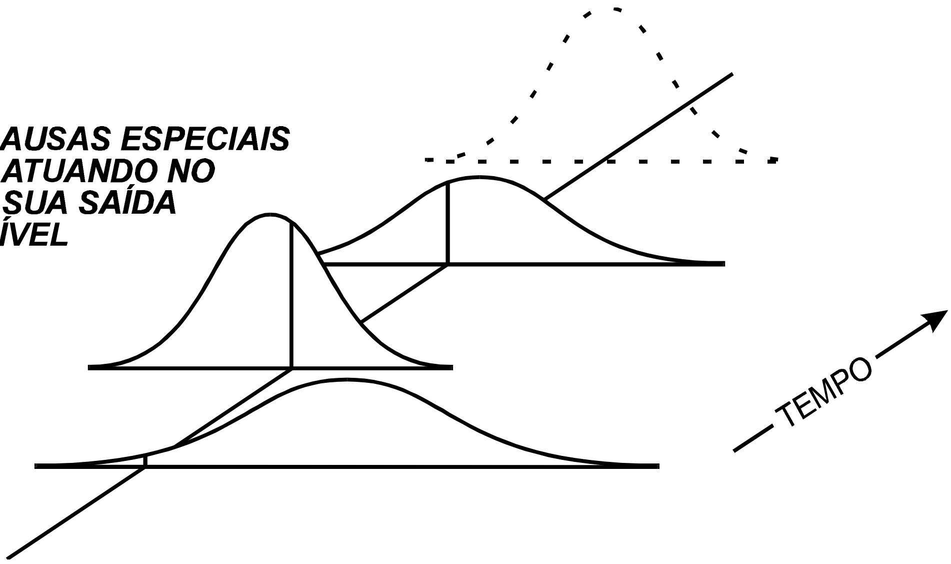


VARIAÇÃO E PREVISIBILIDADE

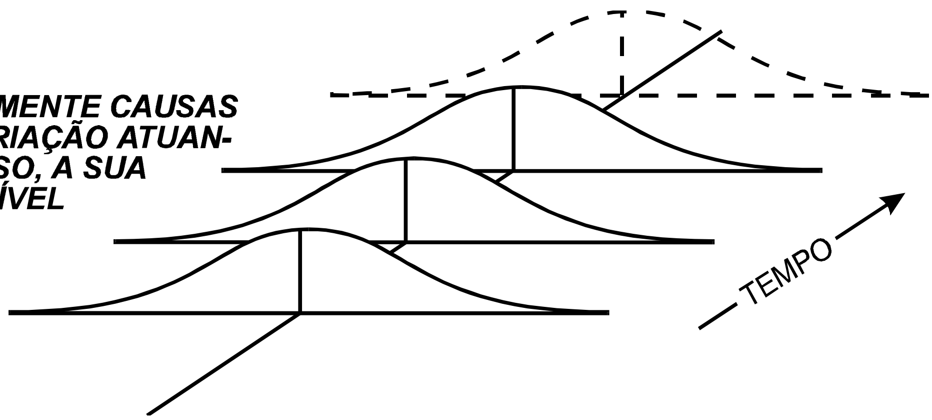
NÃO EXISTEM NA NATUREZA DOIS OBJETOS QUE SEJAM ABSOLUTAMENTE IGUAIS. SEMPRE HÁ VARIAÇÃO.

CONTUDO, A VARIAÇÃO DEVIDA SOMENTE A CAUSAS COMUNS É PREVISÍVEL.

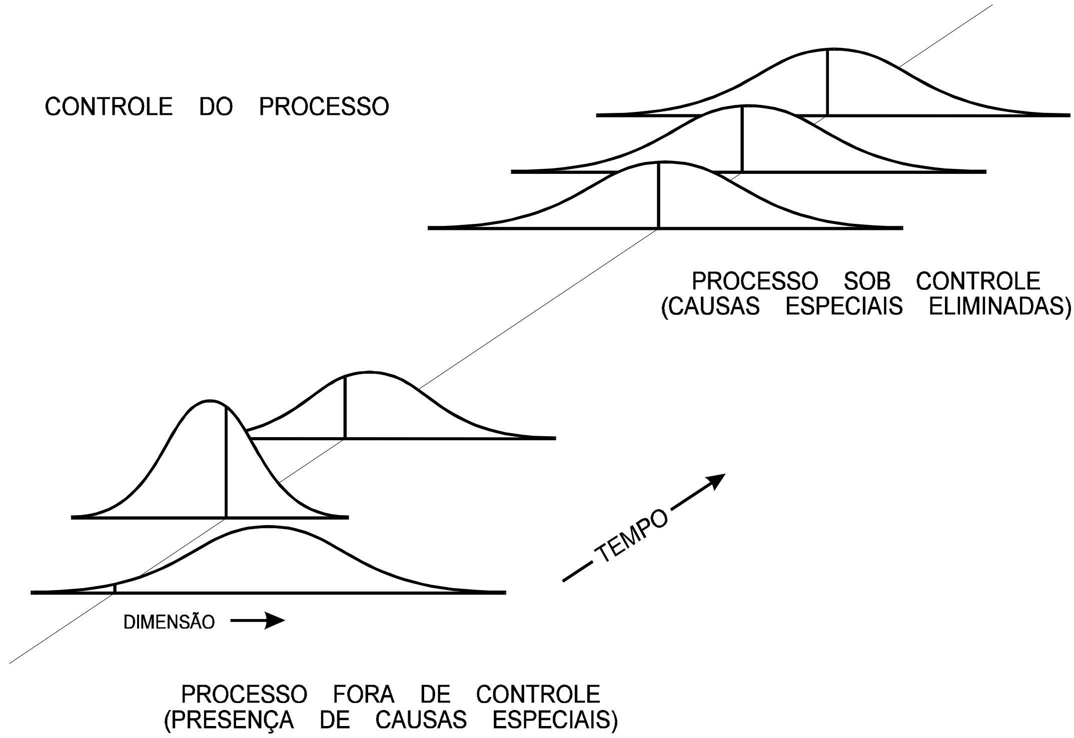
QUANDO HÁ CAUSAS ESPECIAIS DE VARIAÇÃO ATUANDO NO PROCESSO, A SUA SAÍDA NÃO É PREVISÍVEL

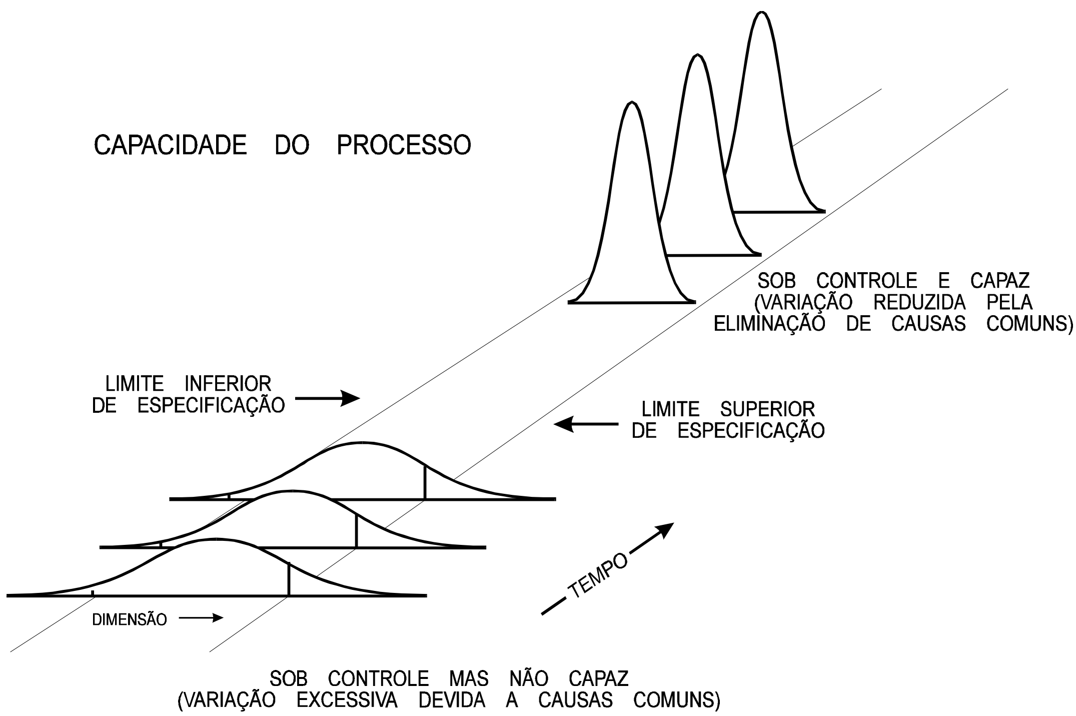


QUANDO HÁ SOMENTE CAUSAS COMUNS DE VARIAÇÃO ATUANDO NO PROCESSO, A SUA SAÍDA É PREVISÍVEL



MELHORIA ATRAVÉS DO CEP





Revisão de Estatística

CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA

A) Medidas de Localização (ou de Tendência Central)

- Média da Amostra (x-barra)

$$\bar{x} = \frac{S\ (x_i)}{n} \quad (i = 1, 2, 3\ldots, n)$$

Onde:
x_i = valores obtidos na amostra
n = número de elementos na amostra

Exemplo: **12,1 - 12,5 - 11,7 - 13,1 - 12,5**

$$\bar{x} = \frac{12{,}1 + 12{,}5 + 11{,}7 + 13{,}1 + 12{,}5}{5} = 12{,}4$$

- Mediana (x-til)

Valor tal que metade dos elementos possuam medidas inferiores ao seu e a outra metade, superiores a este.

Exemplo: **11,7 - 12,1 - 12,5 - 12,5 - 13,1**

$$\tilde{x} = 12{,}5$$

B) Medidas de Dispersão

- Variância (s^2)

$$s^2 = \frac{S\,(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \qquad (i = 1, 2, 3, \ldots, n)$$

Onde:
$\bar{x}$ = Média dos valores da amostra

Exemplo: **12,1 - 12,5 - 11,7 - 13,1 - 12,5**

$$s^2 = \frac{(12{,}1 - 12{,}4)^2 + (12{,}5 - 12{,}4)^2 + \ldots}{4} = 0{,}27$$

- Desvio-Padrão (s)

É a raiz quadrada da variância.

Exemplo: **12,1 - 12,5 - 11,7 - 13,1 - 12,5**

$$s = 0{,}52$$

- Amplitude (R)

Diferença entre o maior e o menor valores da amostra

$$R = x_{max} - x_{min}$$

Exemplo: **12,1 - 12,5 - 11,7 - 13,1 - 12,5**

$$R = 13{,}1 - 11{,}7 = 1{,}4$$

EXERCÍCIO - MÉDIAS E AMPLITUDES

Calcular as médias e as amplitudes das amostras abaixo

AMOSTRA	*VALORES*	*x-BARRA*	*R*
1	7 - 24 - 24 - 20 - 25	20,0	18
2	17 - 37 - 28 - 16 - 26	24,8	21
3	12 - 22 - 40 - 36 - 34	28,8	28
4	52 - 34 - 29 - 36 - 24	35,0	28
5	28 - 28 - 34 - 29 - 48	33,4	20
6	30 - 27 - 48 - 32 - 25	32,4	23
7	36 - 21 - 31 - 22 - 28	27,6	15
8	5 - 33 - 15 - 26 - 42	24,2	37
9	50 - 34 - 37 - 27 - 34	36,4	23
10	21 - 17 - 20 - 25 - 16	19,8	9
11	34 - 18 - 29 - 43 - 24	29,6	25
12	18 - 35 - 26 - 23 - 17	23,8	18
13	10 - 28 - 19 - 26 - 21	20,8	18
14	21 - 23 - 33 - 28 - 38	28,6	17
15	27 - 41 - 15 - 22 - 23		
16	31 - 19 - 39 - 21 - 38		
17	37 - 46 - 22 - 26 - 25		
18	13 - 32 - 35 - 44 - 45		
19	9 - 44 - 25 - 32 - 39		
20	14 - 27 - 34 - 34 - 52		
TOTAL	-	567,4	475

$$\bar{\bar{\mathbf{x}}} = \frac{\mathrm{S}\ \bar{\mathbf{x}}}{\mathbf{k}} = \frac{\mathbf{567{,}4}}{} = \qquad\qquad \bar{\mathbf{R}} = \frac{\mathrm{S}\ \mathbf{R}}{\mathbf{k}} = \frac{}{} =$$

PRINCÍPIOS PARA GRÁFICOS DE CONTROLE EFICAZES

1. Os gráficos sempre utilizam limites de controle localizados à distância de ***três desvios-padrões*** da linha média.

2. O desvio-padrão utilizado deve ser estimado com base na ***variação dentro da amostra***.

3. Os dados devem ser obtidos e organizados em amostras (ou subgrupos) segundo um ***critério racional***.

4. O conhecimento obtido através dos gráficos de controle deve ser empregado para ***tomada de ações necessárias***.

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- Existem vinte amostras (k=20) de tamanho cinco (n=5)

- Enquanto que os valores individuais variam de um mínimo de 5 a um máximo de 52, as médias (x-barra) variam de um mínimo de 19,8 a um máximo de 36,4, ou seja, as médias apresentam menor variação que os valores individuais

- Cada valor obtido de x-barra representa uma estimativa da média do processo, mas feita com base em somente 5 valores (n=5)

- O valor x-duas barras é uma estimativa melhor que cada x-barra, pois é baseada num número maior de dados (20 x 5 = 100)

- O valor x-duas barras pode ser calculado como a média das 20 médias (x-barras) ou, então, como a média dos 100 valores individuais (x)

- Analogamente, R-barra é uma estimativa melhor da variação do processo do que cada R

- Os valores x-duas barras como R-barra somente serão boas estimativas se o processo for estável (previsível ou sob controle)

Gráficos de Controle para Variáveis

GRÁFICOS DE CONTROLE

- Objetivos
    - Verificar se o processo é estável
    - Manter o processo estável
    - Melhorar o desempenho do processo

- Tipos de gráficos de controle
    - Variáveis
        - Medidas
    - Atributos
        - Contagem
        - Classificação

A BASE DE FUNCIONAMENTO DOS GRÁFICOS DE CONTROLE

Em um processo estável, a grande maioria dos valores de uma característica de qualidade deve cair no intervalo:

$$\mu \text{ +/- } 3.\sigma$$

LIMITES DE CONTROLE

$$\textbf{LSC} = m + \mathbf{3\ .}\ s = m\,\mathbf{(x)} + \mathbf{3\ .}\ s\ \mathbf{(x)}$$
$$\textbf{LM} = m = m\,\mathbf{(x)}$$
$$\textbf{LIC} = m - \mathbf{3\ .}\ s = m\,\mathbf{(x)} - \mathbf{3\ .}\ s\ \mathbf{(x)}$$

GRÁFICOS DE CONTROLE PARA VARIÁVEIS

Quando são empregadas variáveis no controle estatístico de processo, são necessários dois gráficos:

- um para controlar a centralização do processo
- um para controlar a sua variabilidade (dispersão)

Cada gráfico de controle tem uma finalidade bem especifica e não substitui ao outro

CONVENÇÕES

n = tamanho da amostra

k = número (quantidade) de amostras

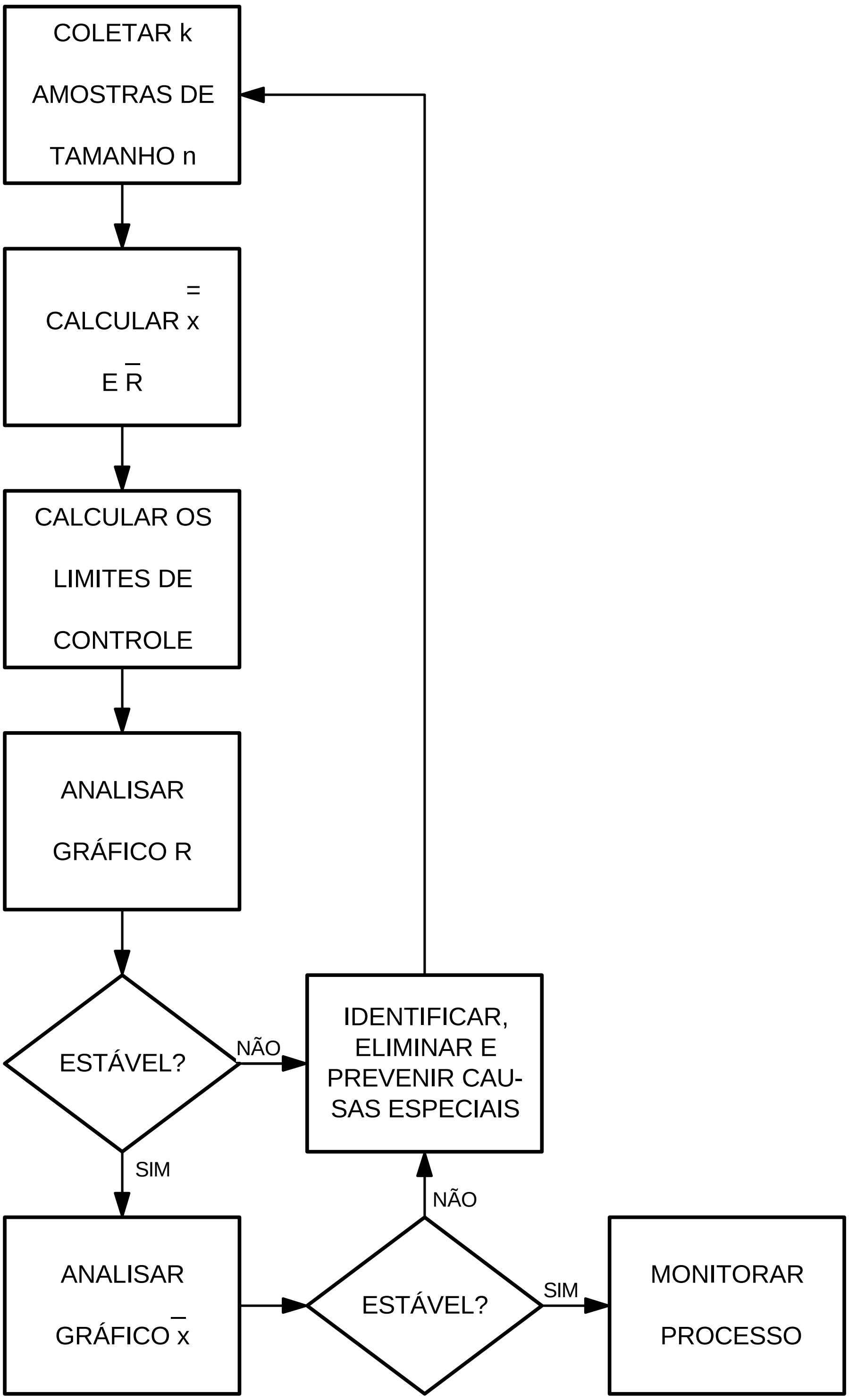
$\bar{\bar{x}}$ = média das médias das amostras (média global)

$\bar{s}$ = desvio-padrão amostral médio

$\bar{R}$ = amplitude amostral média

A_2, A_3, D_3, D_4, etc. = fatores de correção

PROCEDIMENTO PARA CONSTRUÇÃO DE GRÁFICOS x-BARRA E R



GRÁFICOS x-BARRA E R

GRÁFICO DA MÉDIA ($\bar{x}$)

$$LSC_{\bar{x}} = m(\bar{x}) + 3 \,.\, s(\bar{x}) = \bar{\bar{x}} + 3 \,.\, \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} + A_2 \,.\, \bar{R}$$

$$LM_{\bar{x}} = m(\bar{x}) = \bar{\bar{x}}$$

$$LIC_{\bar{x}} = m(\bar{x}) - 3 \,.\, s(\bar{x}) = \bar{\bar{x}} - 3 \,.\, \frac{s(x)}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{x}} - A_2 \,.\, \bar{R}$$

GRÁFICO DA AMPLITUDE (R)

$$LSC_R = m(R) + 3 \,.\, s(R) = D_4 \,.\, \bar{R}$$

$$LM_R = m(R) = \bar{R}$$

$$LIC_R = m(R) - 3 \,.\, s(R) = D_3 \,.\, \bar{R}$$

GRÁFICOS x-BARRA E s

GRÁFICO DA MÉDIA ($\bar{x}$)

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

$$LM_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}}$$

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

GRÁFICO DO DESVIO-PADRÃO (s)

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

$$LM_s = \bar{s}$$

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

GRÁFICOS x E Rm

GRÁFICO DO VALOR INDIVIDUAL ($\bar{x}$)

$$LSC_x = \bar{x} + E_2 \cdot \overline{R}m$$

$$LM_x = \bar{x}$$

$$LIC_x = \bar{x} - E_2 \cdot \overline{R}m$$

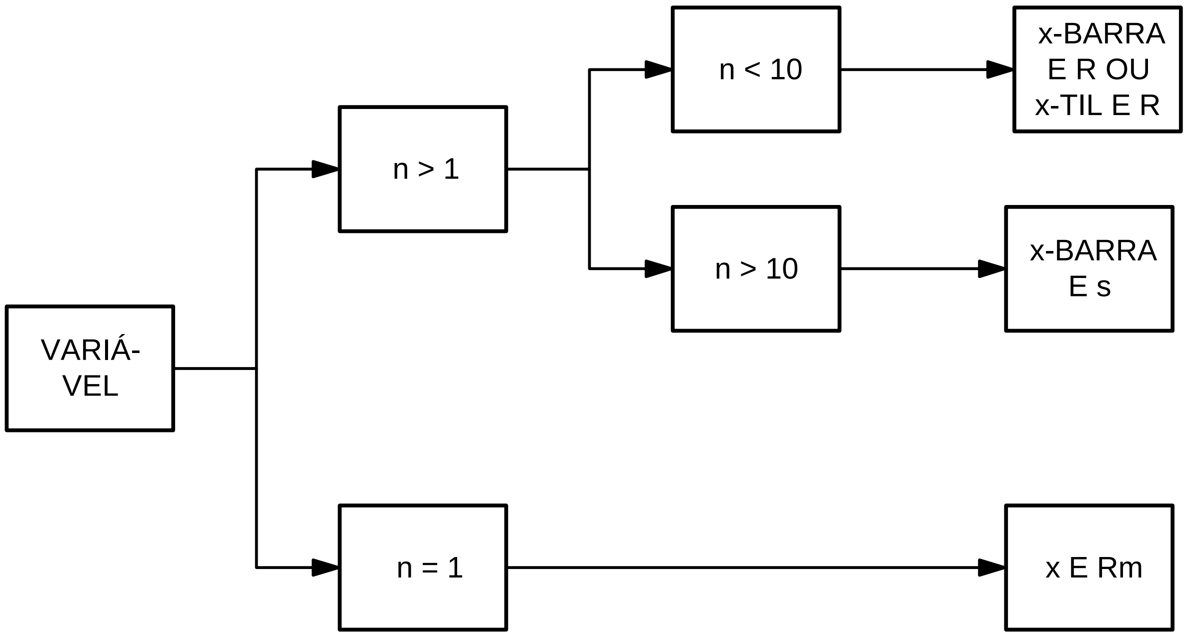
GRÁFICO DA AMPLITUDE MÓVEL (Rm)

$$LSC_{Rm} = D_4 \cdot \overline{R}m$$

$$LM_{Rm} = \overline{R}m$$

$$LIC_{Rm} = D_3 \cdot \overline{R}m$$

SELEÇÃO DO GRÁFICO PARA VARIÁVEIS



Análise da Estabilidade do Processo

REGRA BÁSICA

> Os pontos devem se apresentar distribuídos ao acaso (aleatoriamente), dentro dos limites de controle, para o processo ser considerado estável.

Padrões que indicam que o processo é instável:

- *PONTO FORA DOS LIMITES DE CONTROLE*
  - *Um único ponto acima do LSC ou abaixo do LIC*

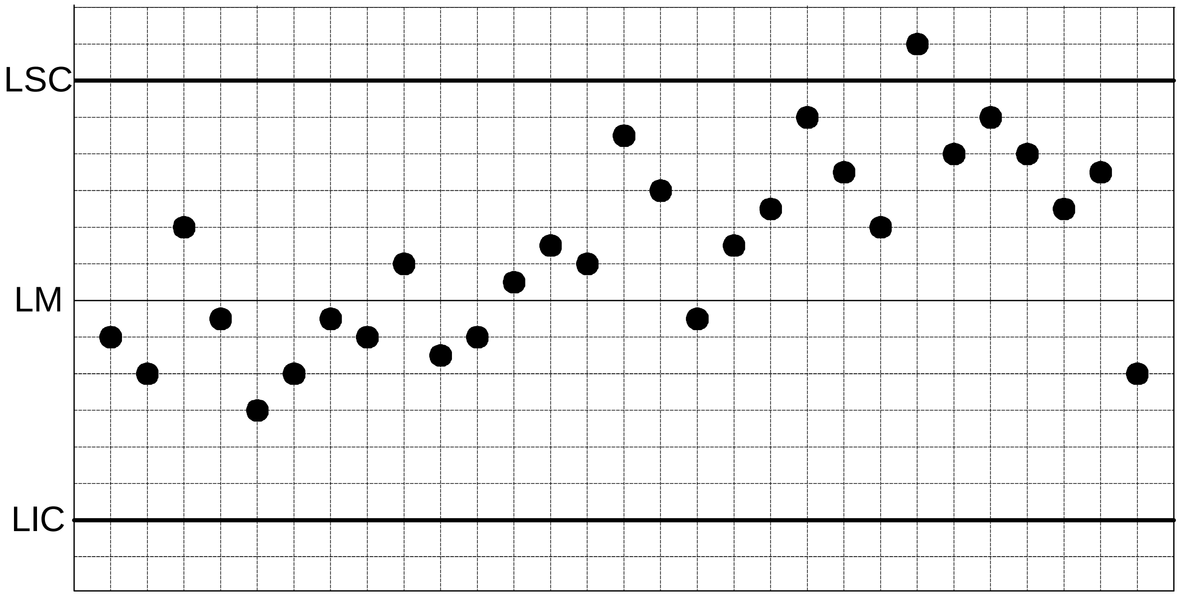
- *PRESENÇA DE CICLOS OU TENDÊNCIAS NOS PONTOS;*
  - *Seis pontos consecutivos aumentando ou diminuindo*

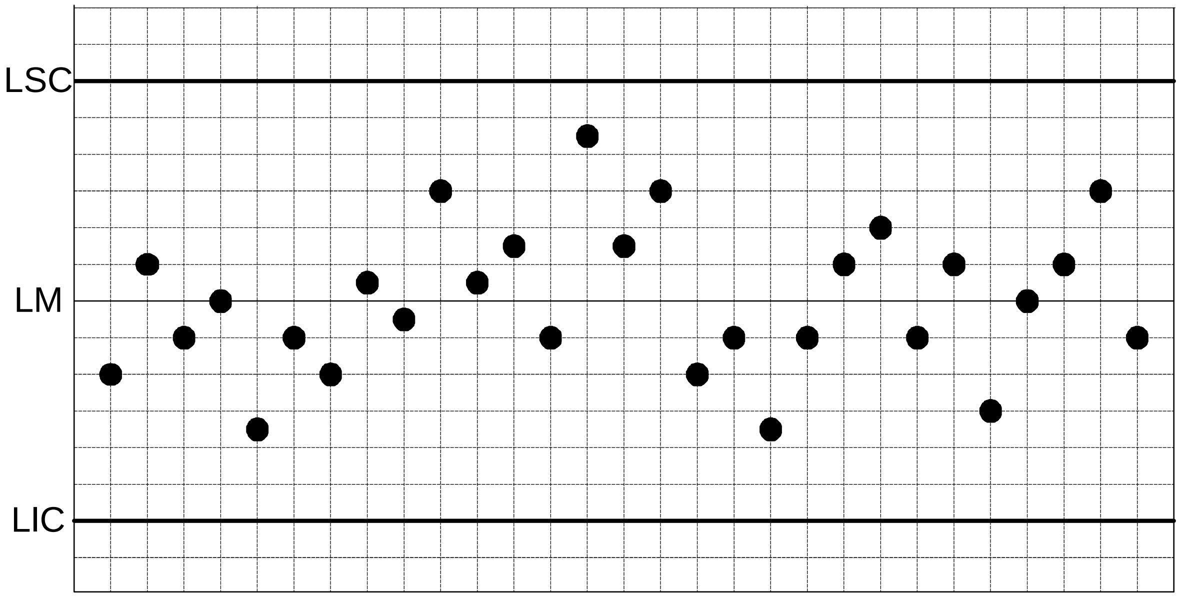
- *ESTRATIFICAÇÃO OU FALTA DE VARIABILIDADE;*
  - *Quinze pontos consecutivos próximos àLM (terço médio)*
  - *Quatorze pontos consecutivos alternando-se para cima e para baixo*

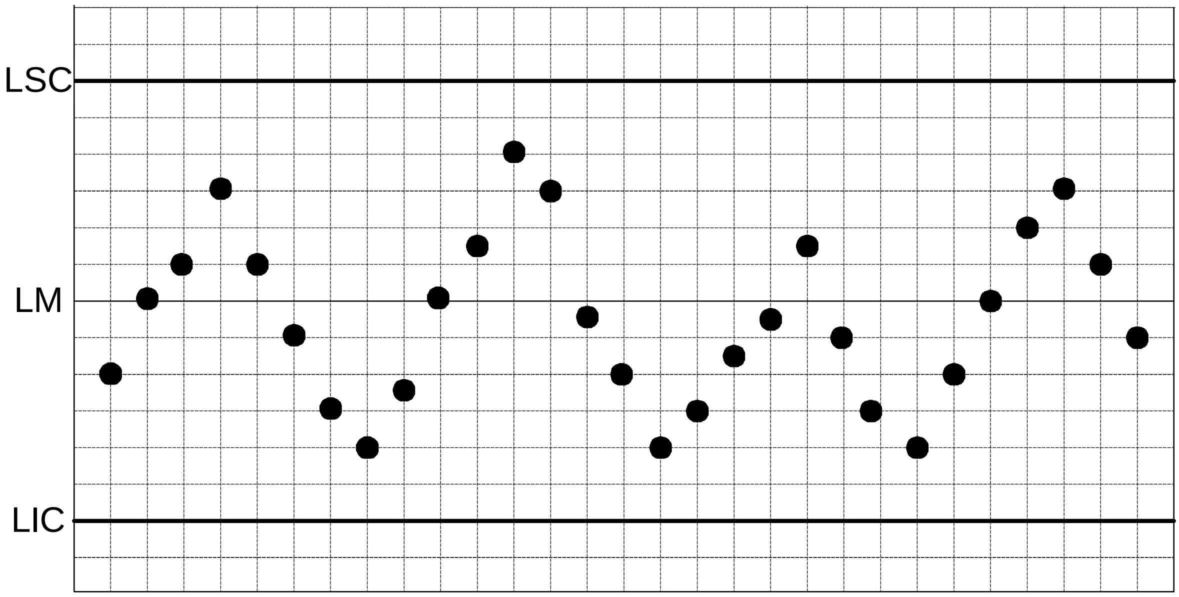
- *SEQÜÊNCIA DE PONTOS PRÓXIMOS AO* ***LSC*** *OU* ***LIC***
  - *Oito pontos consecutivos fora do terço médio*
  - *Dois em três pontos consecutivos no terço externo*
  - *Quatro em cinco pontos consecutivos fora do terço médio*

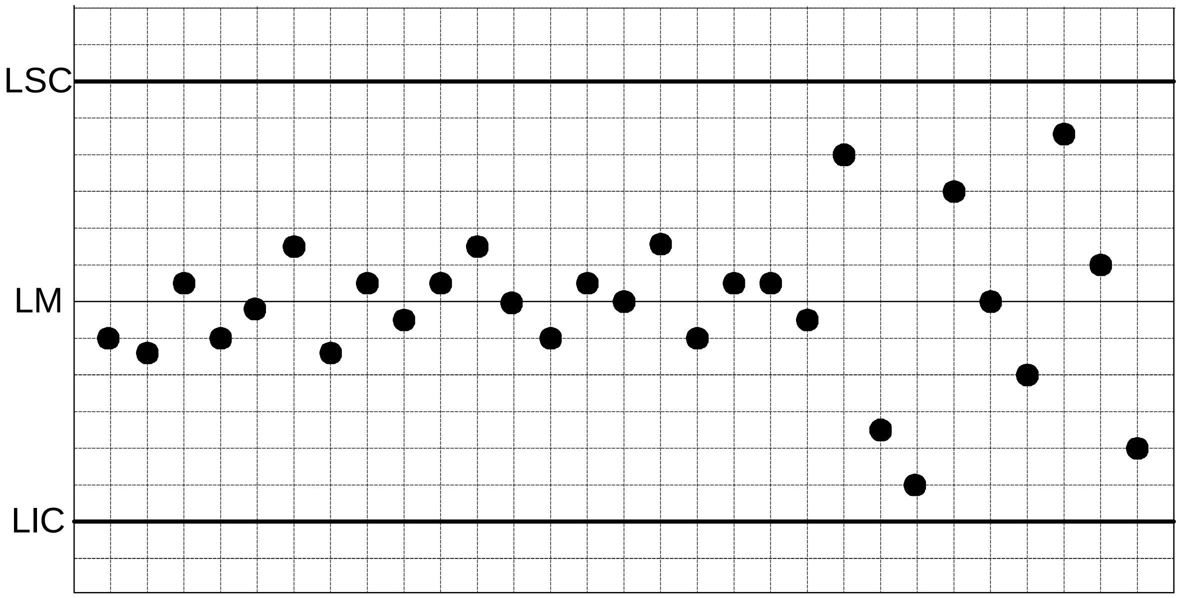
- *SEQÜÊNCIA DE PONTOS DO MESMO LADO DA* ***LM***
  - *Nove pontos consecutivos do mesmo lado da LM*

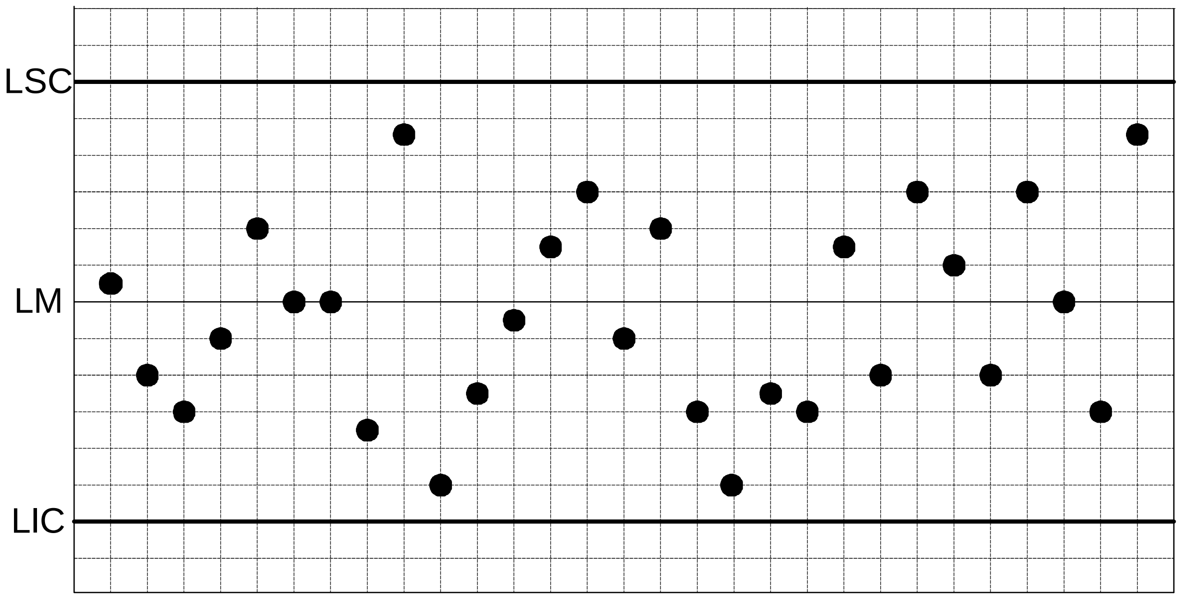
EXERCÍCIO - ANALISAR OS SEGUINTES GRÁFICOS QUANTO A ESTABILIDADE

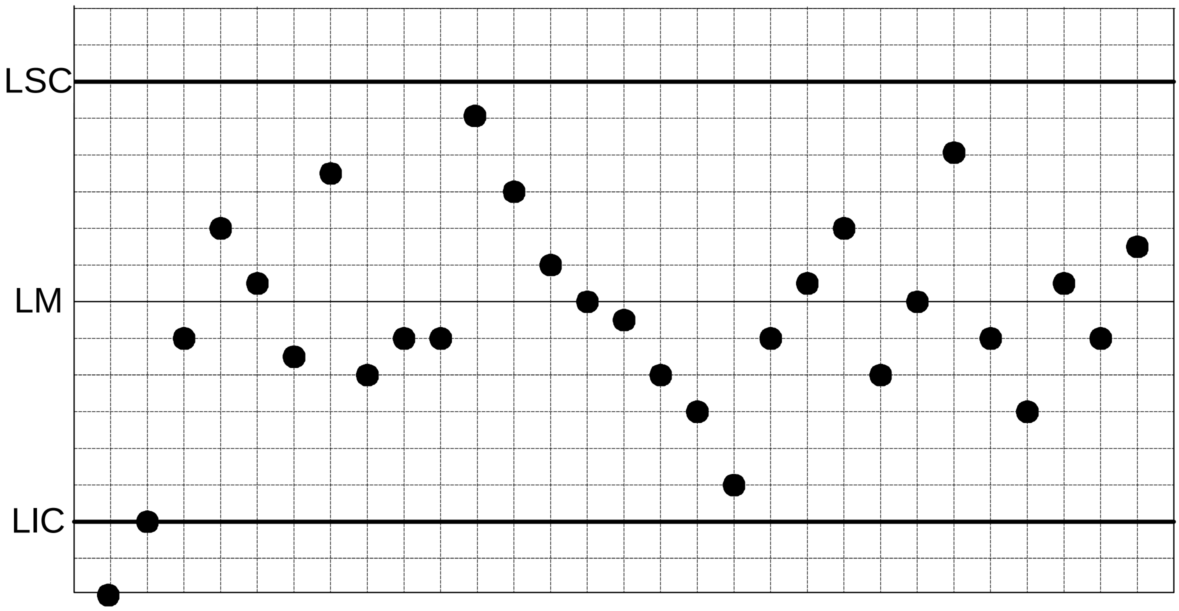





LSC
LM
LIC


LSC
LM
LIC


LSC
LM
LIC


LSC
LM
LIC

COMENTÁRIOS IMPORTANTES

- Unindo-se os pontos facilita-se a visualização
- Existe uma infinidade de testes de não-aleatoriedade em livros e artigos
- A análise visual ainda é o melhor meio de detecção de causas especiais de variação
- Somente com treinamento e prática é possível identificar causas especiais com facilidade
- Não enxergar “fantasmas e bruxas” onde não existem

Estudos de Capacidade do Processo

CAPACIDADE DE PROCESSO

Estudos de capacidade (ou capabilidade) têm por objetivo verificar se um processo gera produtos que atendem às especificações de engenharia, em condições normais de operação.

Para realizar um estudo de capacidade é necessário que:

- *O PROCESSO SEJA (ESTATISTICAMENTE) ESTÁVEL*
- *AS MEDIDAS INDIVIDUAIS TENHAM DISTRIBUIÇÃO NORMAL*

SE ESTAS DUAS RESTRIÇÕES NÃO FOREM OBEDECIDAS OS RESULTADOS DO ESTUDO FORNECERÃO INDICAÇÕES ERRADAS.

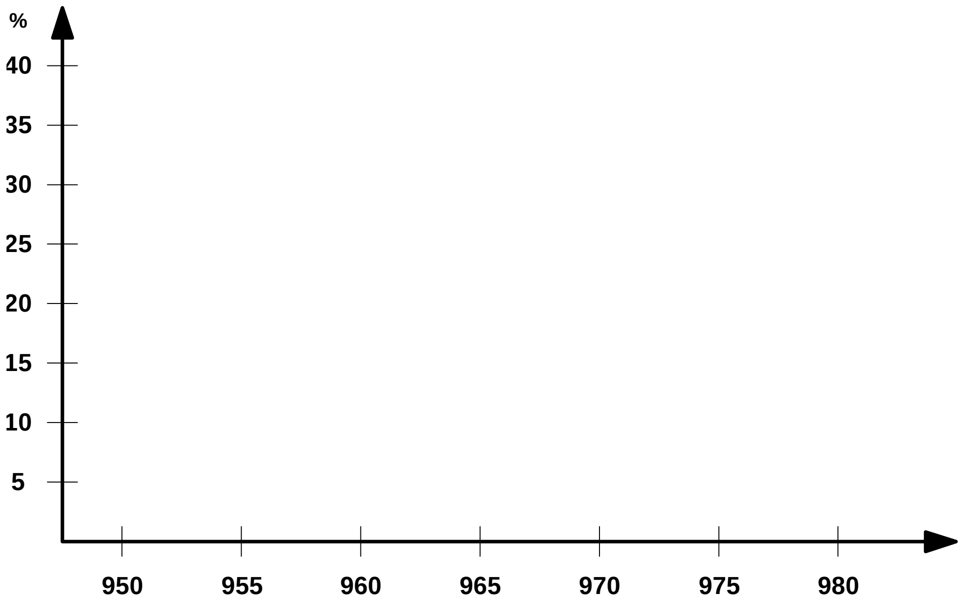
A verificação da estabilidade do processo é feita através da análise dos ***GRÁFICOS DE CONTROLE***, enquanto que a aderência dos valores individuais com a distribuição normal pode ser feita com o uso do ***PAPEL DE PROBABILIDADE NORMAL.***

PAPEL DE PROBABILIDADE NORMAL (PPN)

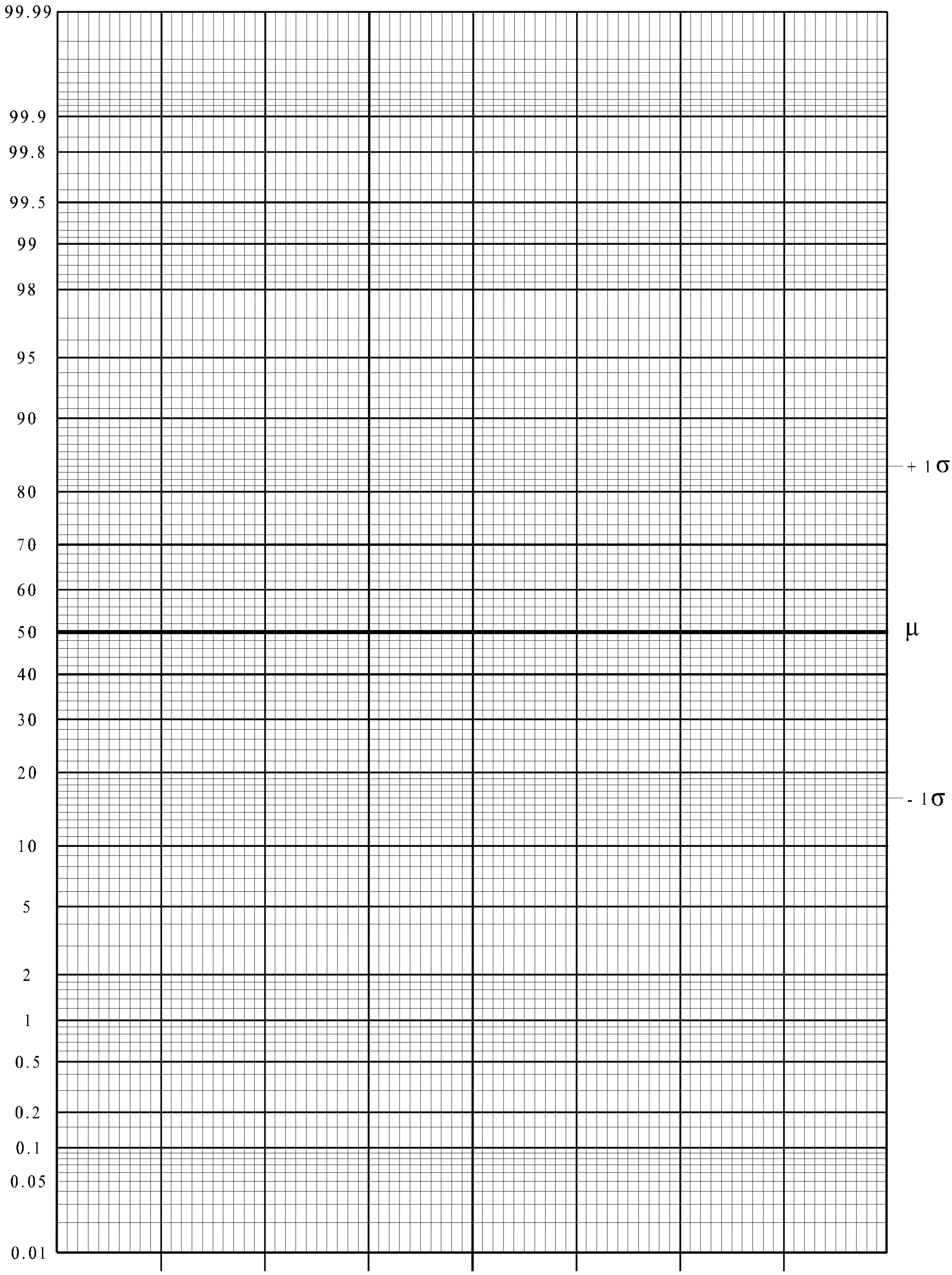
O PPN tem por objetivo verificar se os valores individuais de uma determinada característica seguem a distribuição normal

EXEMPLO

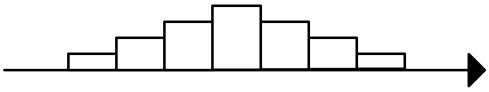
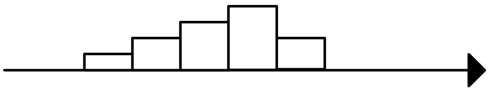
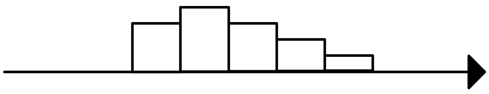
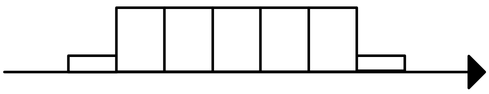
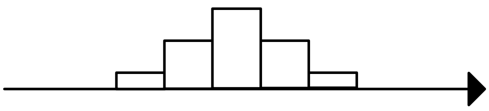
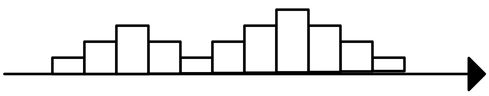
CLASSE	%	% ACUMULADA
950 |- 955	5	
955 |- 960	23	
960 |- 965	36	
965 |- 970	27	
970 |- 975	8	
975 |- 980	1	



Papel de Probabilidade Normal



INTERPRETAÇÃO

HISTOGRAMA	*PPN*
NORMAL 	
ASSIMÉTRICO A ESQUERDA 	
ASSIMÉTRICO A DIREITA 	
ACHATADO 	
ALONGADO 	
BIMODAL 	

ÍNDICES DE CAPACIDADE DE PROCESSO

Para verificar se um processo é capaz, são utilizados índices de capacidade que comparam as ***especificações*** de engenharia com a ***variação natural*** do processo

CONVENÇÕES ADOTADAS

m = MÉDIA DO PROCESSO

s = DESVIO-PADRÃO DO PROCESSO

$\bar{\bar{x}}$ = MÉDIA GERAL DAS AMOSTRAS

$\bar{R}$ = AMPLITUDE MÉDIA DAS AMOSTRAS

$\bar{s}$ = DESVIO-PADRÃO MÉDIO DAS AMOSTRAS

LIE = LIMITE INFERIOR DA ESPECIFICAÇÃO

LSE = LIMITE SUPERIOR DA ESPECIFICAÇÃO

ÍNDICE C_P

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot s} = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \frac{\overline{R}}{d_2}} = \frac{LSE - LIE}{6 \cdot \frac{\overline{s}}{c_4}}$$

ÍNDICE Cpk

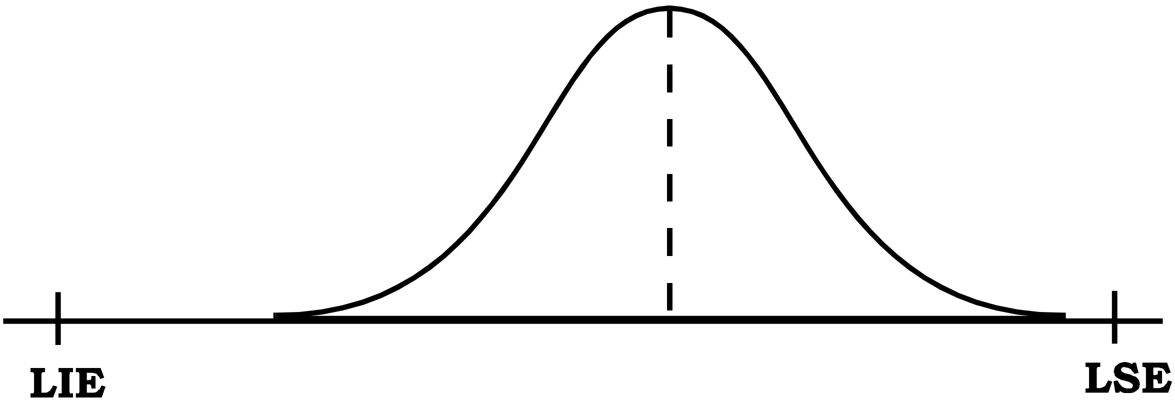
$$C_{Pk} = \text{MIN}\left\{C_{PI}, C_{PS}\right\}$$

$$C_{PI} = \frac{m - LIE}{3 \cdot s} = \frac{\overline{\overline{x}} - LIE}{3 \cdot \frac{\overline{R}}{d_2}} = \frac{\overline{\overline{x}} - LIE}{3 \cdot \frac{\overline{s}}{c_4}}$$

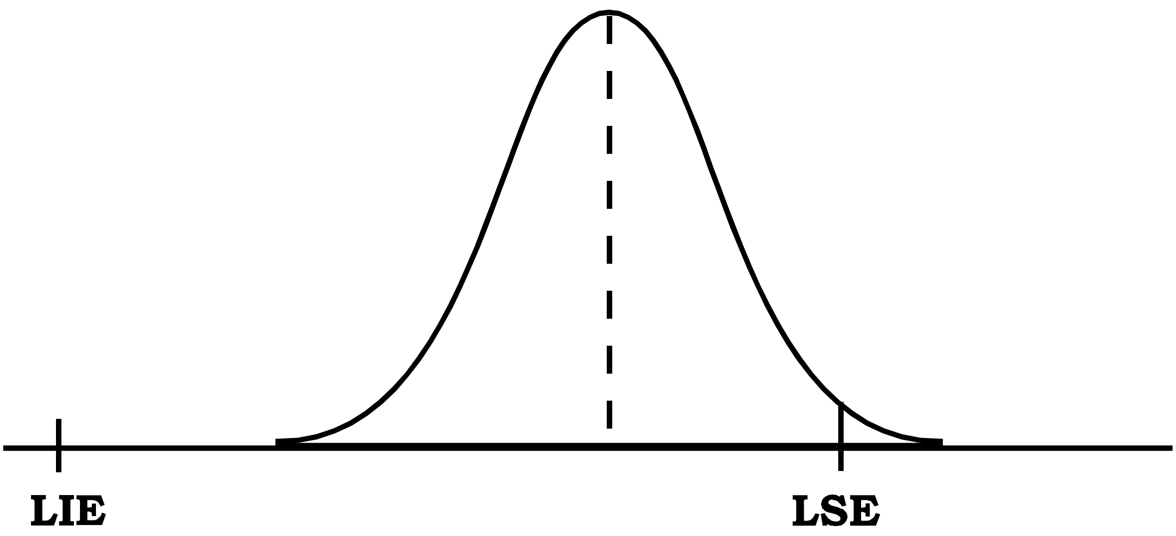
$$C_{PS} = \frac{LSE - m}{3 \cdot s} = \frac{LSE - \overline{\overline{X}}}{3 \cdot \frac{\overline{R}}{d_2}} = \frac{LSE - \overline{\overline{X}}}{3 \cdot \frac{\overline{s}}{c_4}}$$

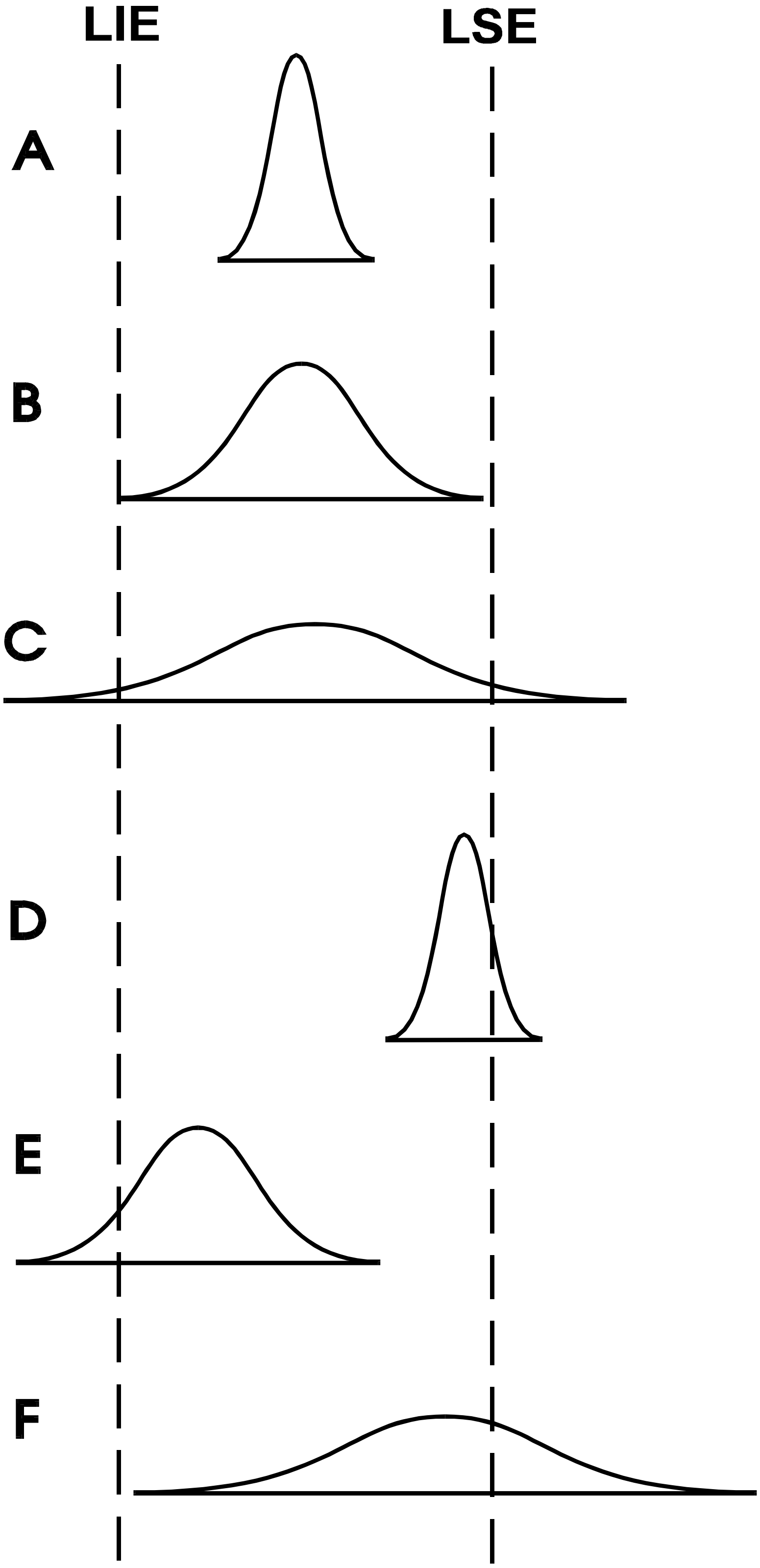
INTERPRETAÇÃO DE Cp E Cpk

ÍNDICE Cp



ÍNDICE Cpk





Cp	Cpk

OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- Cp é sempre maior ou igual a Cpk
- Quando o processo está centralizado, ou seja, a sua média está bem no meio da especificação, então Cp = Cpk
- Sempre que Cpk < 1, há geração de produtos não-conformes
- No caso de especificações unilaterais, somente se utiliza o índice Cpk
- Tanto Cp como Cpk só têm resultados válidos se a distribuição dos valores individuais for normal

Gráficos de Controle para Atributos

ATRIBUTOS

TIPOS:

A) Gráfico da Fração Defeituosa na Amostra (p)

B) Gráfico do Número de Defeituosos na Amostra (np)

C) Gráfico do Número de Defeitos na Amostra (c)

D) Gráfico do Número de Defeitos por Unidade (u)

Quando utilizar gráficos de controle para atributos:

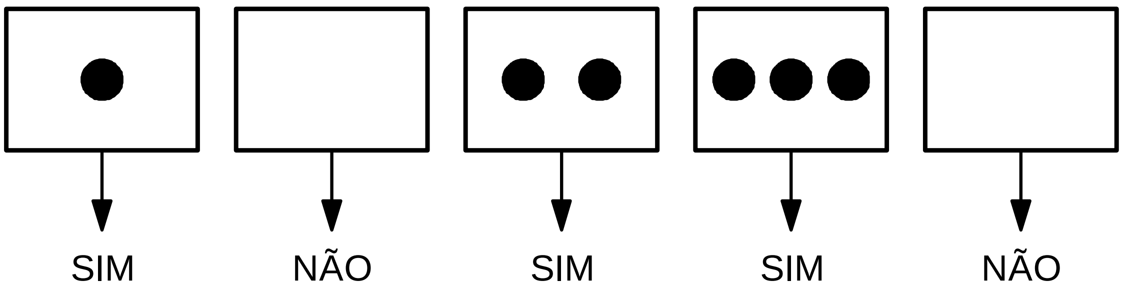
- a medição da característica é inviável ou antieconômica
- conveniente transformar uma variável em atributo

CUIDADO !

Uma variável sempre transmite muito mais informação do que um atributo

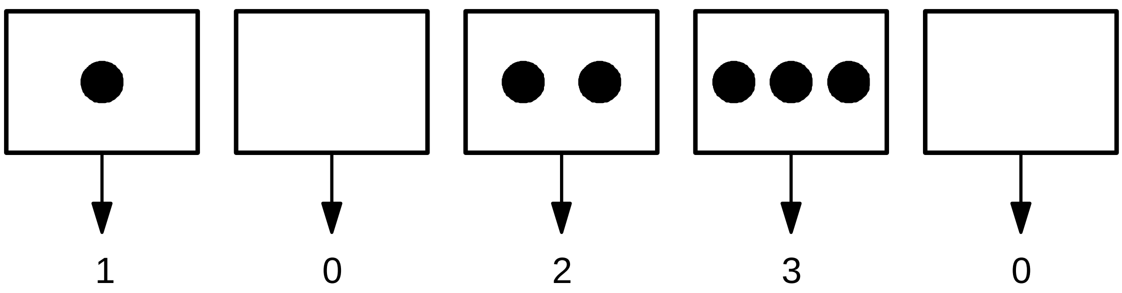
CLASSIFICAÇÃO x CONTAGEM

Pergunta: a amostra tem alguma defeito ?



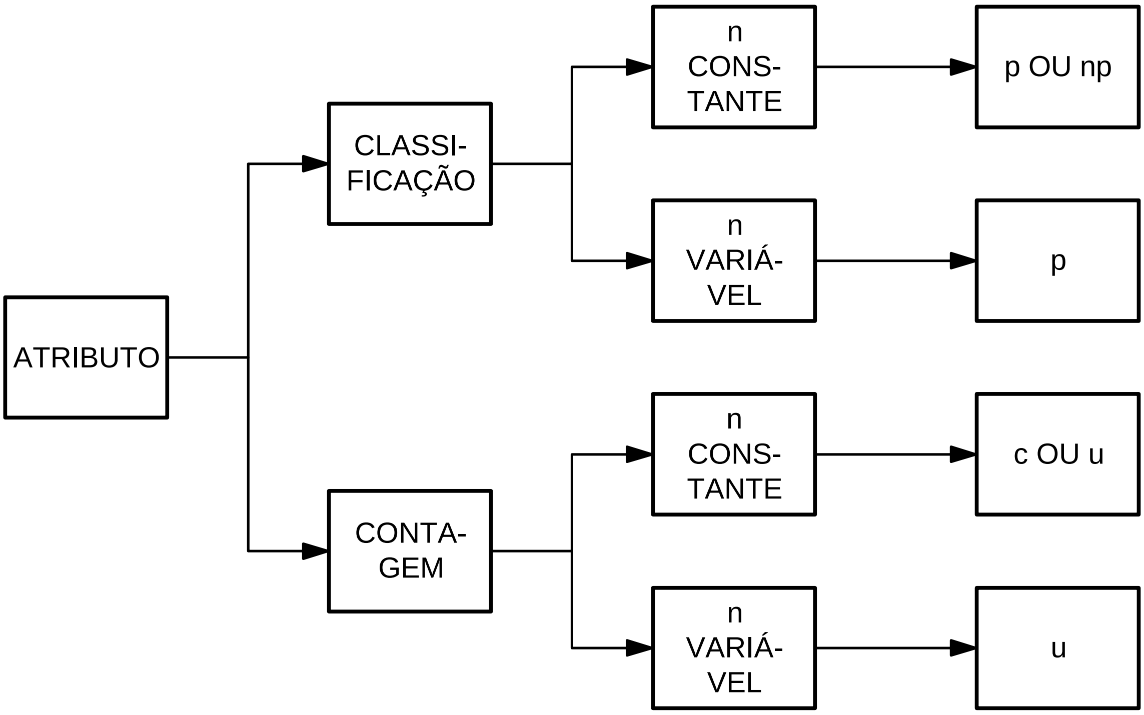
Atributos do tipo SIM/NÃO são analisados através de gráficos do tipo p ou np

Pergunta: quantos defeitos tem a amostra ?



Atributos que consistem na contagem de defeitos são analisados através de gráficos do tipo c ou u

SELEÇÃO DO TIPO DE GRÁFICO

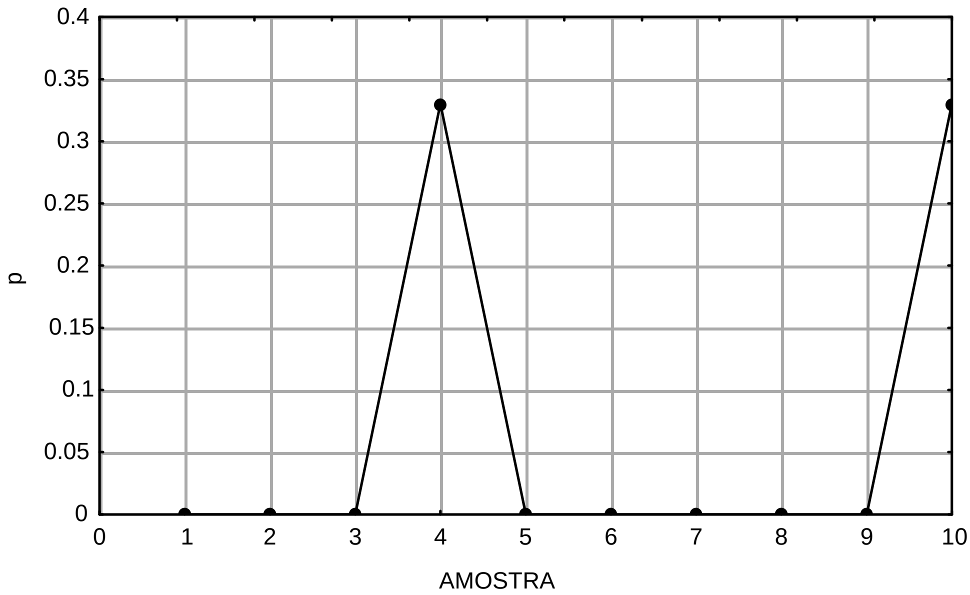


TAMANHO DE AMOSTRA

- gráficos de controle para atributos necessitam tamanhos de amostra maiores do que variáveis
- tamanhos de amostra insuficientes trazem problemas na construção do gráfico

UM EXEMPLO ABSURDO

AMOSTRA	*n*	*d*	*p*
1	3	0	0,00
2	3	0	0,00
3	3	0	0,00
4	3	1	0,33
5	3	0	0,00
6	3	0	0,00
7	3	0	0,00
8	3	0	0,00
9	3	0	0,00
10	3	1	0,33



TAMANHO DE AMOSTRA

Para que o tamanho de amostra seja suficiente, temos que observar as seguintes restrições:

- para gráficos de controle do tipo p ou np
    - $n.\bar{p} > 5$
    - $n.(1 - \bar{p}) > 5$

- para gráficos de controle do tipo c ou u
    - $\bar{c} > 5$

CONVENÇÕES

n = tamanho da amostra

k = número (quantidade) de amostras

d = número de defeituosos

p = fração defeituosa

$\bar{p}$ = fração defeituosa média

c = número de defeitos

$\bar{c}$ = número médio de defeitos

u = número de defeitos por unidade

$\bar{u}$ = número médio de defeitos por unidade

FRAÇÃO DEFEITUOSA NA AMOSTRA (p)

$$p = \frac{\text{Nº. ITENS DEFEITUOSOS}}{\text{Nº.ITENS INSPECIONADOS}}$$

$$\mathbf{LSC_P} = \bar{\mathbf{p}} + 3\ .\ \sqrt{\frac{\bar{\mathbf{p}}\ .\ (1 - \bar{\mathbf{p}})}{\mathbf{n}}}$$

$$\mathbf{LM_P} = \bar{\mathbf{p}}$$

$$\mathbf{LIC_P} = \bar{\mathbf{p}} - 3\ .\ \sqrt{\frac{\bar{\mathbf{p}}\ .\ (1 - \bar{\mathbf{p}})}{\mathbf{n}}}$$

OBSERVAÇÃO

Se o limite inferior de controle (LIC) der negativo, então adotar que este não existe.

NÚMERO DE DEFEITUOSOS NA AMOSTRA (np)

np = número de defeitos encontrados na amostra

Número médio de defeitos na amostra

$$n\overline{p} = \frac{\text{Total de defeitos}}{\text{Total de amostras}}$$

$$LSC_{np} = n\overline{p} + 3 \cdot \sqrt{n\overline{p}\,(I - \overline{p})}$$

$$LM_{np} = n\overline{p}$$

$$LIC_{np} = n\overline{p} - 3 \cdot \sqrt{n\overline{p}\,(I - \overline{p})}$$

OBSERVAÇÃO

Se o limite inferior de controle (LIC) der negativo, então adotar que este não existe.

NÚMERO DE DEFEITOS NA AMOSTRA (c)

c = número de defeitos encontrados na amostra

Número médio de defeitos na amostra

$$\bar{c} = \frac{\text{Total de defeitos}}{\text{Total de amostras}}$$

$$LSC_c = m(c) + 3 \,.\, s(c) = \bar{c} + 3 \,.\, \sqrt{\bar{c}}$$

$$LM_c = m(c) = \bar{c}$$

$$LIC_c = m(c) - 3 \,.\, s(c) = \bar{c} - 3 \,.\, \sqrt{\bar{c}}$$

OBSERVAÇÃO

Se o limite inferior de controle (LIC) der negativo, então adotar que este não existe.

NÚMERO DE DEFEITOS POR UNIDADE (u)

$$\mathbf{u} = \frac{\textbf{Numero de defeitos}}{\textbf{Numero de unidade}} = \frac{\mathbf{c}}{\mathbf{n}}$$

Número médio de defeitos na amostra

$$u = \frac{\text{Total de defeitos}}{\text{Total de unidades}}$$

$$LSC_u = m(u) + 3 \,.\, s(u) = \overline{u} + 3 \,.\, \sqrt{\frac{\overline{u}}{n}}$$

$$LM_u = m(u) = \overline{u}$$

$$LIC_u = m(u) - 3 \,.\, s(u) = \overline{u} - 3 \,.\, \sqrt{\frac{\overline{u}}{n}}$$

OBSERVAÇÃO

Se o limite inferior de controle (LIC) der negativo, então adotar que este não existe.

ANEXOS

GRÁFICOS DE CONTROLE

Gráfico de Controle	*Linha Média*	*Limites de Controle*
média e amplitude	$\bar{\bar{x}}$	$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2.\bar{R}$ $LIC = \bar{\bar{x}} - A_2.\bar{R}$
$\bar{x}$ - **R**	$\bar{R}$	$LSC = D_4.\bar{R}$ $LIC = D_3.\bar{R}$
média e desvio padrão	$\bar{\bar{x}}$	$LSC = \bar{\bar{x}} + A_3.\bar{s}$ $LIC = \bar{\bar{x}} - A_3.\bar{s}$
$\bar{x}$ - **s**	$\bar{s}$	$LSC = B_4.\bar{s}$ $LIC = B_3.\bar{s}$
valores individuais e amplitude móvel	$\bar{\bar{x}}$	$LSC = \bar{x} + E_2.\bar{R}m$ $LIC = \bar{x} - E_2.\bar{R}m$
x - **Rm**	$\bar{R}m$	$LSC = D_4.\bar{R}m$ $LIC = D_3.\bar{R}m$
fração defeituosa **p**	$\bar{p}$	$LSC = \bar{p} + 3.\sqrt{\frac{\bar{p}.(1-\bar{p})}{n}}$ $LIC = \bar{p} - 3.\sqrt{\frac{\bar{p}.(1-\bar{p})}{n}}$
número de defeitos na amostra **c**	$\bar{c}$	$LSC = \bar{c} + 3.\sqrt{\bar{c}}$ $LIC = \bar{c} - 3.\sqrt{\bar{c}}$
número de defeitos por unidade **u**	$\bar{u}$	$LSC = \bar{u} + 3.\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$ $LIC = \bar{u} - 3.\sqrt{\frac{\bar{u}}{n}}$

FATORES PARA CÁLCULO DE LIMITES DE CONTROLE

n	A_2	A_3	E_2	B_3	B_4
2	1,880	2,695	2,660	-	3,267
3	1,023	1,954	1,772	-	2,568
4	0,729	1,628	1,457	-	2,266
5	0,577	1,427	1,290	-	2,089
6	0,483	1,287	1,184	0,030	1,970
7	0,419	1,182	1,109	0,118	1,882
8	0,373	1,099	1,054	0,185	1,815
9	0,337	1,032	1,010	0,239	1,761
10	0,308	0,975	0,975	0,284	1,716

n	D_3	D_4	D	c_4	d_2
2	-	3,267	0,709	0,798	1,128
3	-	2,574	0,524	0,886	1,693
4	-	2,282	0,446	0,921	2,059
5	-	2,114	0,403	0,940	2,326
6	-	2,004	0,375	0,952	2,534
7	0,076	1,924	0,353	0,959	2,704
8	0,136	1,864	0,338	0,965	2,847
9	0,184	1,816	0,325	0,969	2,970
10	0,223	1,777	0,314	0,973	3,078

FONTE: MONTGOMERY, D.C. ***Introduction to statistical quality control***. 2 ed. New York, John Wiley, 1991.