

Controle de qualidade

Conjunto de operações para assegurar que apenas os produtos que atendam plenamente as especificações técnicas sejam comercializados.

Controle de Qualidade

- Tolerâncias
- Aspectos econômicos do controle de qualidade
- Aspectos técnicos do controle de qualidade
- Controle de qualidade em 100% e controle de qualidade por amostragem
- Posicionamento do controle de qualidade
- Exercícios

Tolerância

É a faixa de variação aceitável para uma característica de um produto, definida de forma a garantir a qualidade com que ele realiza a função para a qual foi projetado.

tolerância



Visando encontrar um equilíbrio técnico-econômico, os projetistas definem as maiores tolerâncias possíveis que, ao mesmo tempo, preservem a qualidade com que o produto realiza sua função e barateiem a produção.

Aspectos econômicos do controle de qualidade

O sucesso de uma empresa depende da capacidade de oferecer produtos e serviços que atendam às expectativas a um preço competitivo superando as condições impostas por normas ou barreiras técnicas.

Aspectos econômicos do controle de qualidade

- Custos da não-qualidade
- Custos da qualidade
- Custos totais da qualidade

Custos da não-qualidade

Os custos decorrentes de falhas nos produtos e processos, ocorridas internamente (dentro da empresa) e externamente (fora da empresa) são conhecidos como custos da não-qualidade

Custos da não-qualidade

- Desperdício de energia, matéria prima e mão de obra
- Rejeição errônea
- Aprovação errônea
- Atrasos na produção
- Retrabalhos de produtos defeituosos ou serviços mal executados
- Indenizações (perdas e danos a pessoas ou ao ambiente)
- recalls
- Perda de clientes e prejuízo da imagem

Custos da qualidade

Os custos da qualidade são os custos relacionados com a avaliação e prevenção de não conformidades

Custos da qualidade

- Adquirir sistemas de produção novos com melhor desempenho
- Implementar mais estações de inspeção em várias fases do processo
- Adquirir sistemas de medição mais sofisticados
- Calibrar mais frequentemente os sistemas de medição e CQ
- Contratar pessoal mais especializado ou treinar melhor
- Adequar os ambientes de medição

São exemplos de custos da qualidade:

- Investimentos com a aquisição de novos sistemas de medição para o controle de qualidade;
- Elevação de custo com inspeções mais frequentes e demoradas;
- Elevação de custo com mais pessoas envolvidas na área de qualidade;
- Imobilização de capital com os equipamentos e salas de medição;
- Elevação de custos com a manutenção e calibração de instrumentos.



Custos totais da qualidade

A soma dos custos da não-qualidade com os custos da qualidade resulta nos custos totais da qualidade.

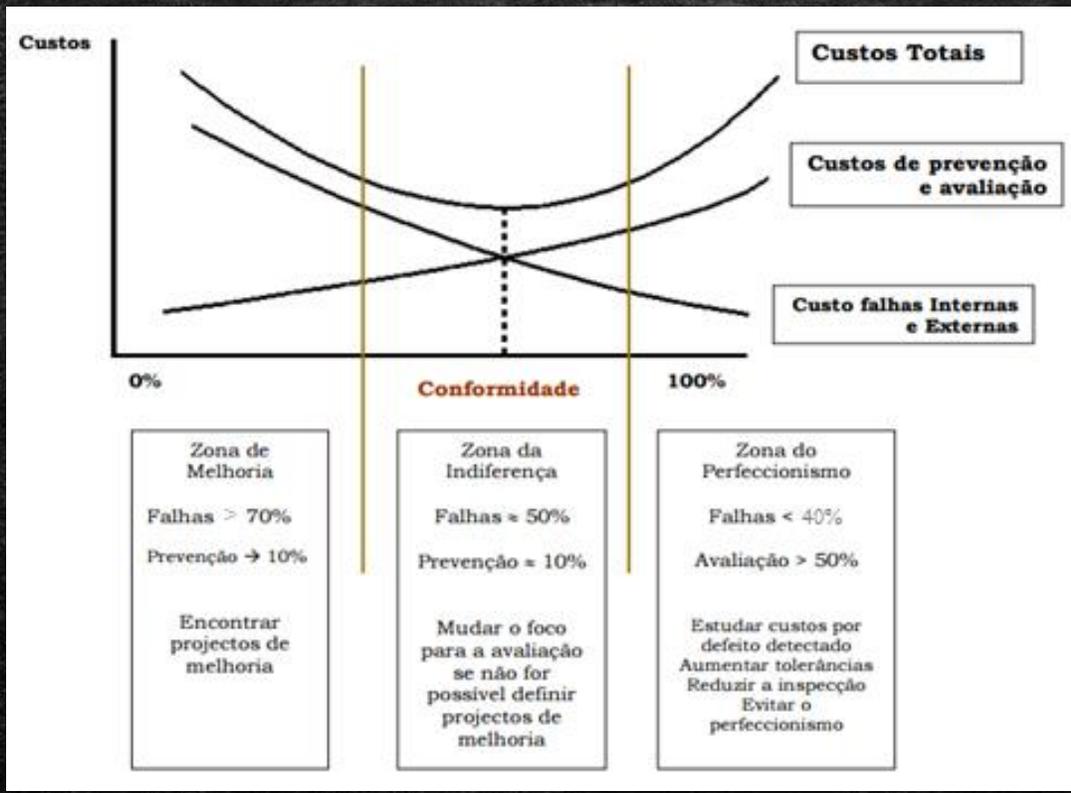
Custos totais da qualidade



Custos totais da qualidade calculados como a soma dos custos da qualidade com os custos da não-qualidade.

$$\text{CUSTO DA QUALIDADE (TOTAL)} = \underbrace{A + B}_{\text{Prevenção inevitáveis}} + \underbrace{C + D}_{\text{falhas Int. Falhas ext evitáveis}}$$

Custos totais da qualidade



▷ Feigenbaum (1994)

<u>Indústria</u>	<u>% vendas</u>
- baixa tolerância	0,5 - 2
- mec. normal	1 - 5
- mec. prec.	2 - 10
- ind. complexa	5 - 25

↑
CUSTO TOTAL QUAL.

Custos totais da qualidade calculados como a soma dos custos da qualidade com os custos da não-qualidade.

Distribuição ideal:

- Prevenção — 0,5-5% do C.T.Q.
- Avaliação — ~25% do C.T.Q.
- Falhas — 70% do C.T.Q.

Aspectos técnicos do controle de qualidade

Há duas classes principais de **controle de qualidade** praticadas na indústria.

Aspectos técnicos do controle de qualidade

- Controle de qualidade por variáveis
- Controle de qualidade por atributos

Controle de qualidade por variáveis

No **controle de qualidade por variáveis**, o valor numérico de um parâmetro do produto é comparado com os limites definidos pela tolerância.

Controle de qualidade por atributos

No **controle de qualidade por atributos**, verifica-se a presença ou ausência de certas características do produto.

Limites de especificação e intervalo de tolerância

Zona de conformidade é a faixa de valores entre os limites de especificação, definidos pela tolerância. Se a característica do produto estiver dentro da zona de conformidade, o produto é **aprovado**

Limite de especificação e intervalo de tolerância



Limite inferior da especificação (LIE), limite superior da especificação (LSE) e intervalo de tolerância (IT) para a tolerância de 500 ± 10 g

Limite de especificação e intervalo de tolerância



Limite inferior da especificação (LIE), limite superior da especificação (LSE) e intervalo de tolerância (IT) para a tolerância de 500 ± 10 g

Limites de aceitação

Zona de aceitação é a faixa de valores dentro da qual o resultado-base deve-se situar para que o produto seja aprovado no controle de qualidade

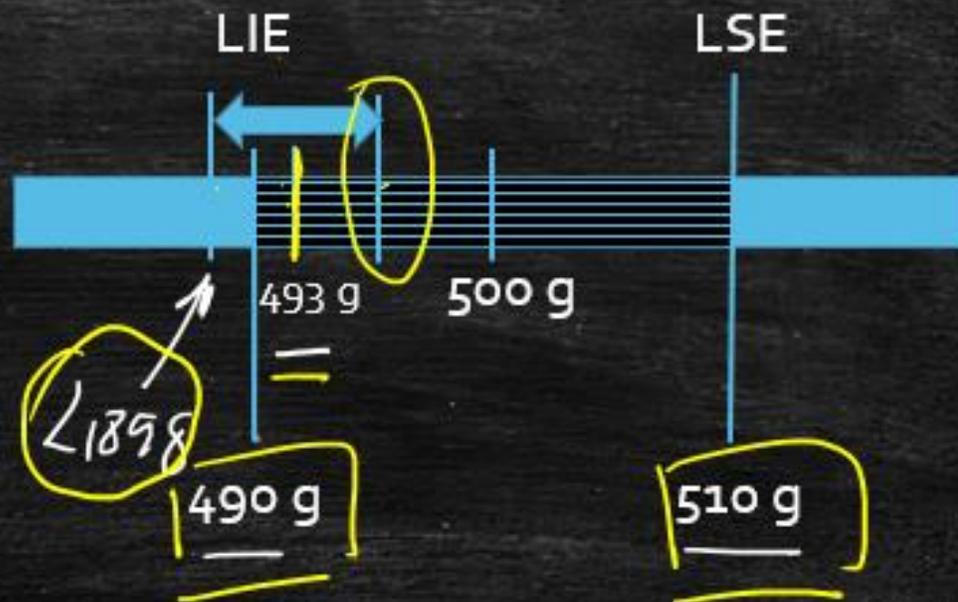
Limite de aceitação

Incerteza de medição

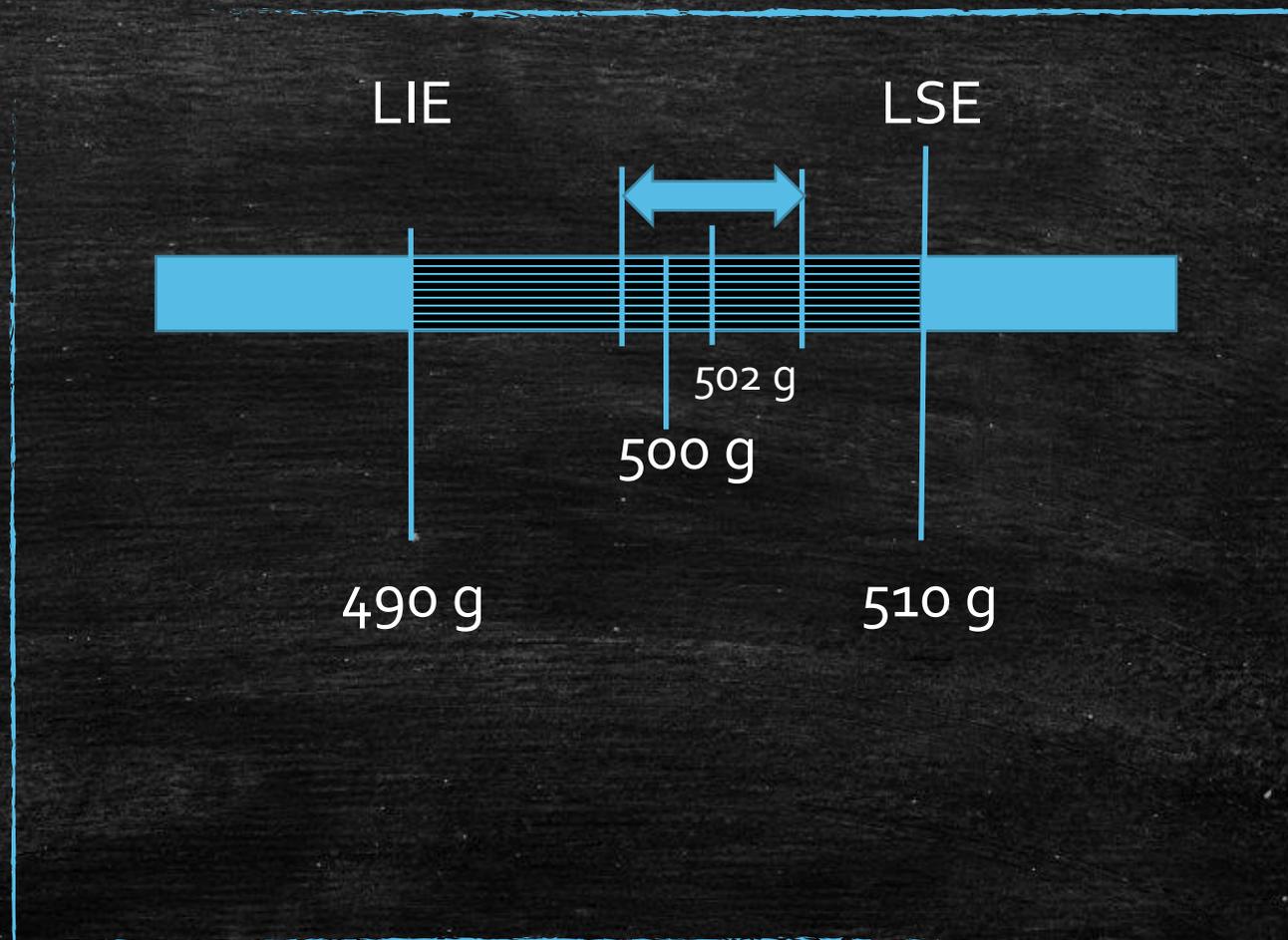
$\pm 4g$

$493g$
 $497g$
 $489g$

Verificando o saco de café com $493 \pm 4g$ atende a tolerância de $500 \pm 10g$



Limite de aceitação



Verificando se o saco de café com 502 ± 4 g atende a tolerância de 500 ± 10 g

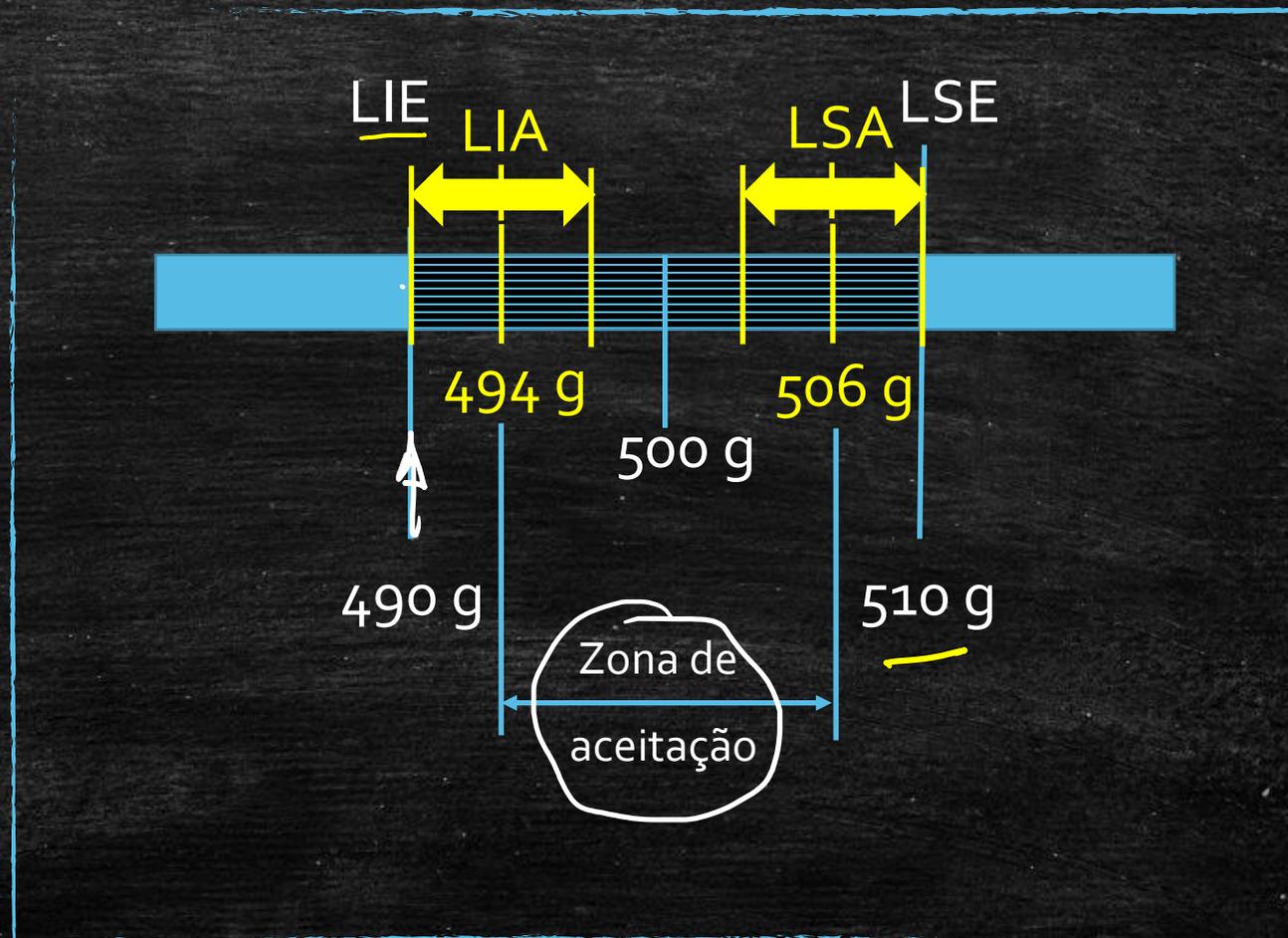
Limite de aceitação

$$LIA = LIE + IM$$

$$LSA = LSE - IM$$

IM = Incerteza de Medição

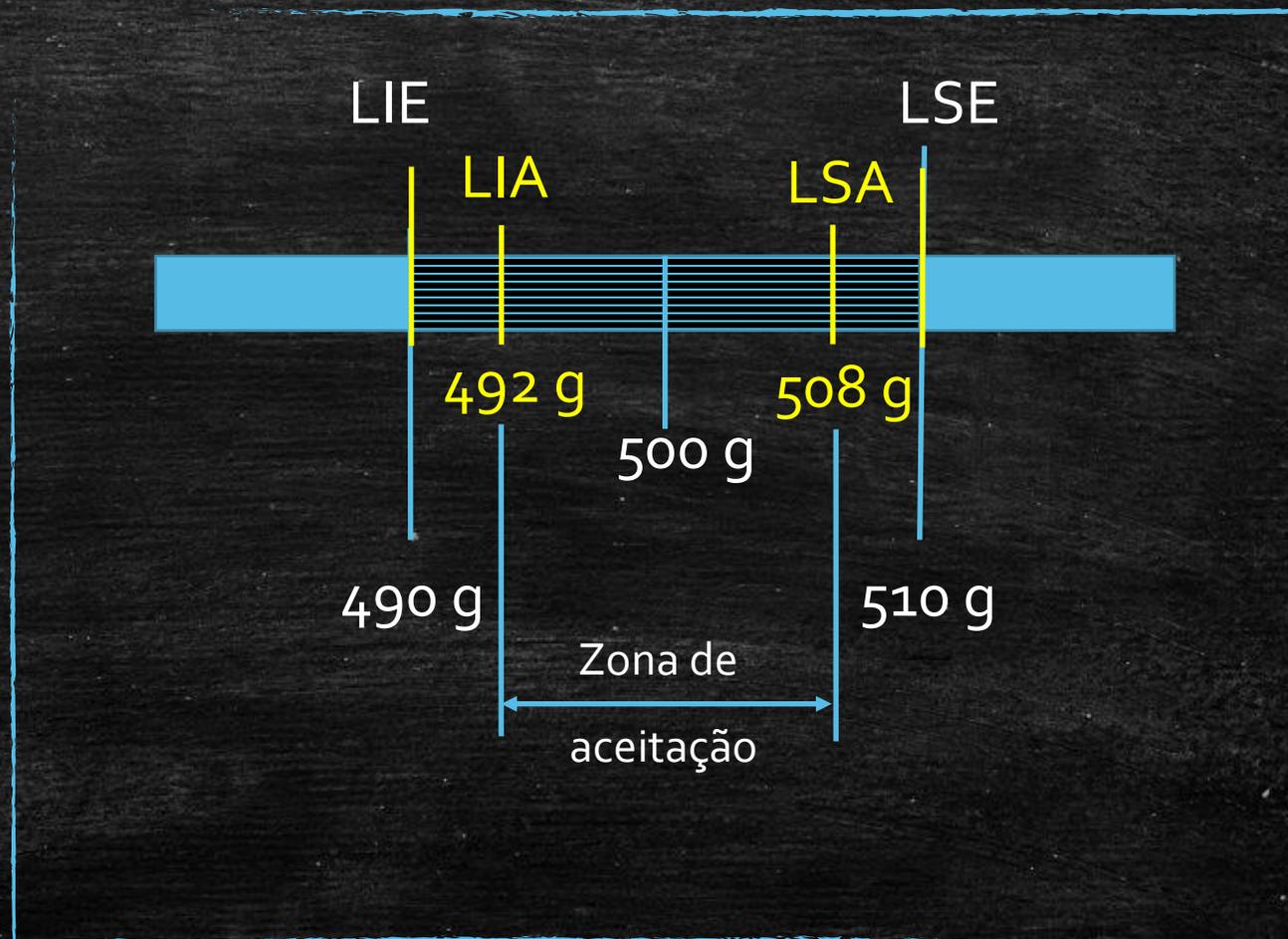
Zona de conformidade para a tolerância de 500 ± 10 g usando um processo de medição com incerteza de medição de 4 g.



Limite de aceitação

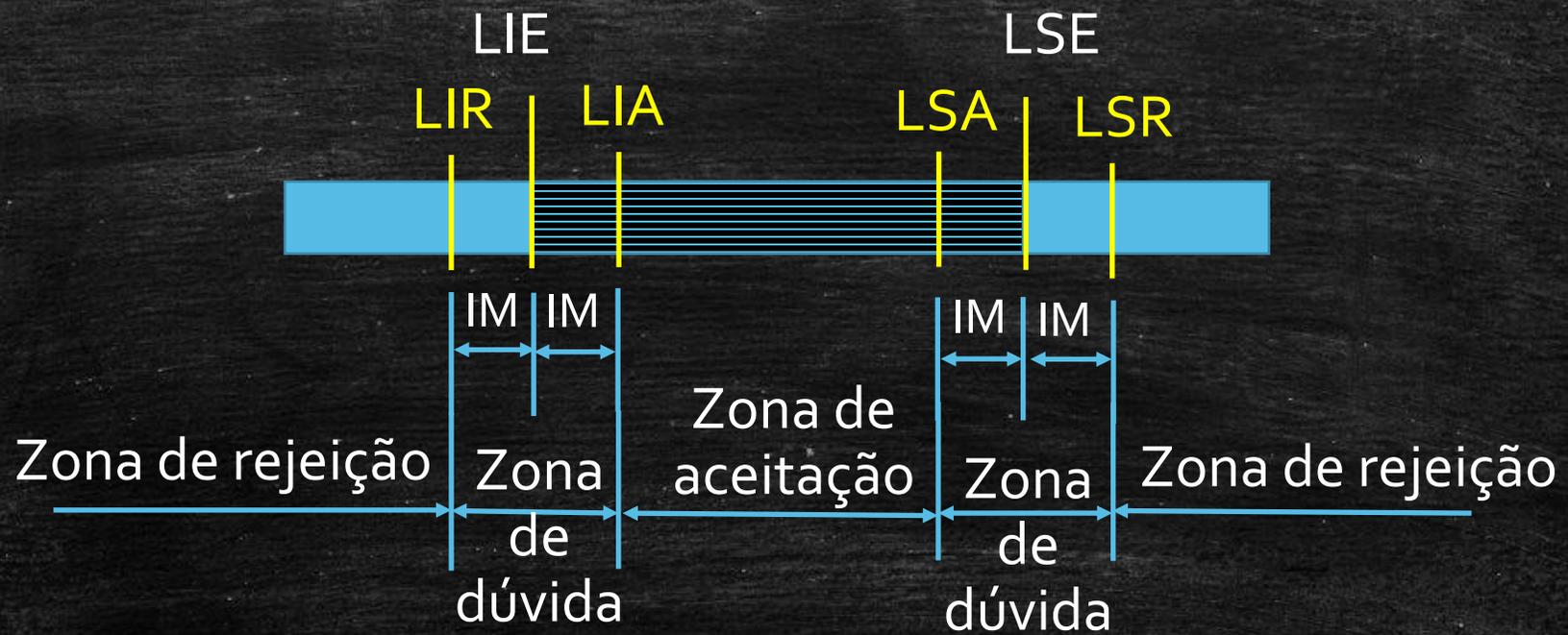
$$\pm 10g \rightarrow t = 20g$$
$$IM = \frac{20}{10} = 2g$$

$$IM = \frac{IT}{10}$$

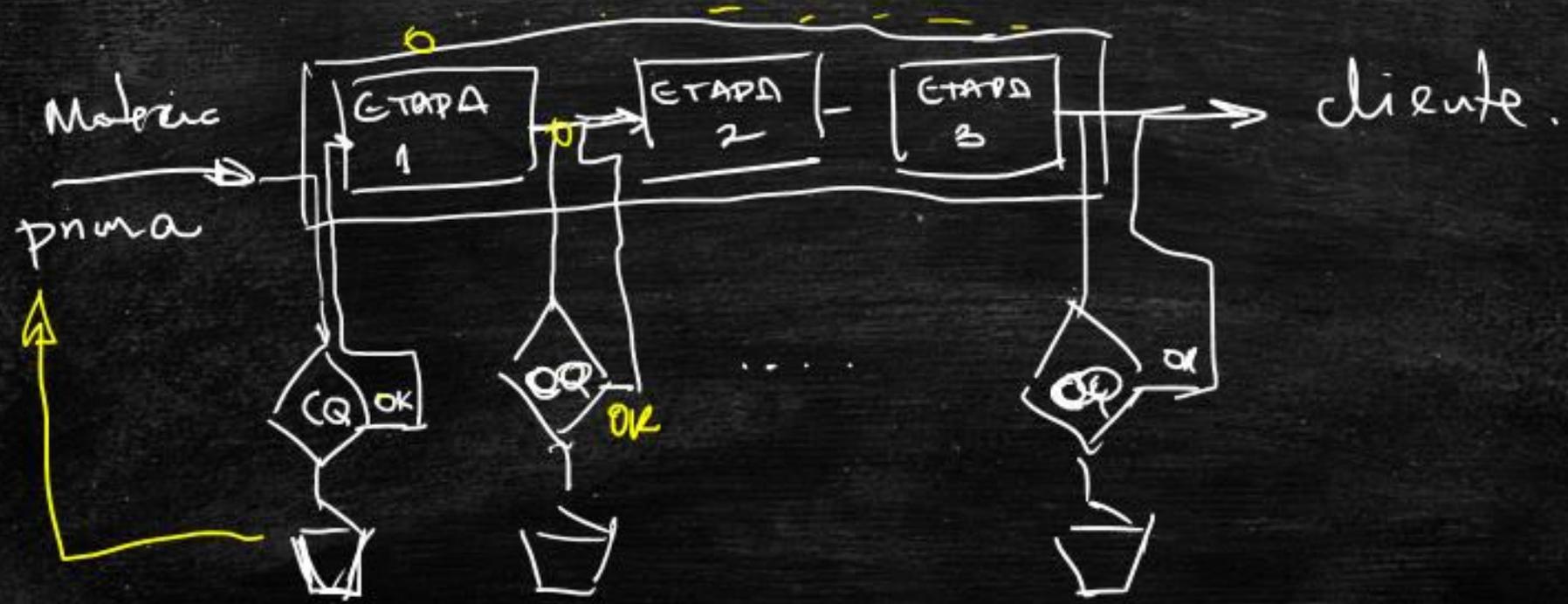
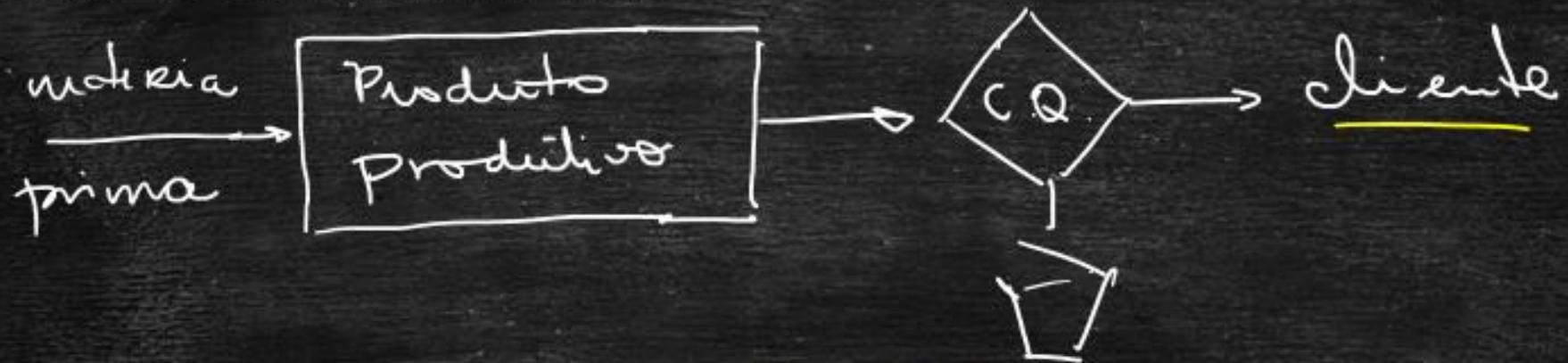


Limites de rejeição

Os Limites de Rejeição definem faixas nas quais não há dúvidas de que o produto não obedece a tolerância.



Posição do controle de qualidade



TB-298 - Estatística - Terminologia
BS 5703 - Guide to data Analysis and Quality Control
writing CUSUM charts and Tabulations

NB - 1326

Controle estatístico para prevenção e detecção de desvios da qualidade, durante processos de fabricação, por meio de gráficos.

> métodos de coletar, ordenar, registrar e analisar os dados de forma planejada para prevenção e detecção de desvios da qualidade causados por perturbações no processo

Definições

- **Causa comum**

Fatores numerosos e de importância individual relativamente pequena, inerentes ao processo, que contribuem para sua variação de modo previsível, mas não afetam sua uniformidade.

- **Causa especial**

Fatores detectáveis e identificáveis que contribuem para a variação do processo de modo imprevisível e afetam a sua uniformidade

- **Capabilidade do processo**

Capacidade de o processo produzir unidades do produto em conformidade com as especificações.

Generalidades

- Todo processo apresenta variabilidade, devido a
 - a) Causas especiais
 - b) Causas comuns

- Processo sob controle estatístico

Todas as causas especiais foram eliminadas, i.e., falta de uniformidade em:

- Matéria-prima
- Mão-de-obra
- Máquina
- Método
- Meio ambiente

Generalidades

- Objetivos principais do CEP são:
 - a) Eliminar as causas especiais;
 - b) Manter o processo sob controle estatístico detectando e eliminando o mais rápido possível novas causas especiais;
 - c) Evitar a produção de itens defeituosos;
 - d) Conhecer a variabilidade do processo

Generalidades - Gráficos de controle

a) Por variável ✓

- $\bar{x} - s$ (média e desvio padrão)
- $\bar{x} - R$ (média e amplitude)
- $\tilde{x} - R$ (mediana e amplitude)

↑

$\left. \begin{matrix} n \\ (n-1) \end{matrix} \right\}$

b) Por atributos

- p (fração defeituosa)
- np (número de defeituosas)
- u (defeitos por unidade)
- c (número de defeitos)

}

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Os limites de especificação do produto não devem ser confundidos com os limites de controle do processo.

Os limites de controle servem de guia para análise das variações existentes no processo.

Produção de peças não conformes depois de o processo atingir o estado de controle estatístico

- a) Introduzir alterações básicas no processo de produção;
- b) Alterar, se possível, os limites de especificação;
- c) Proceder à inspeção 100%

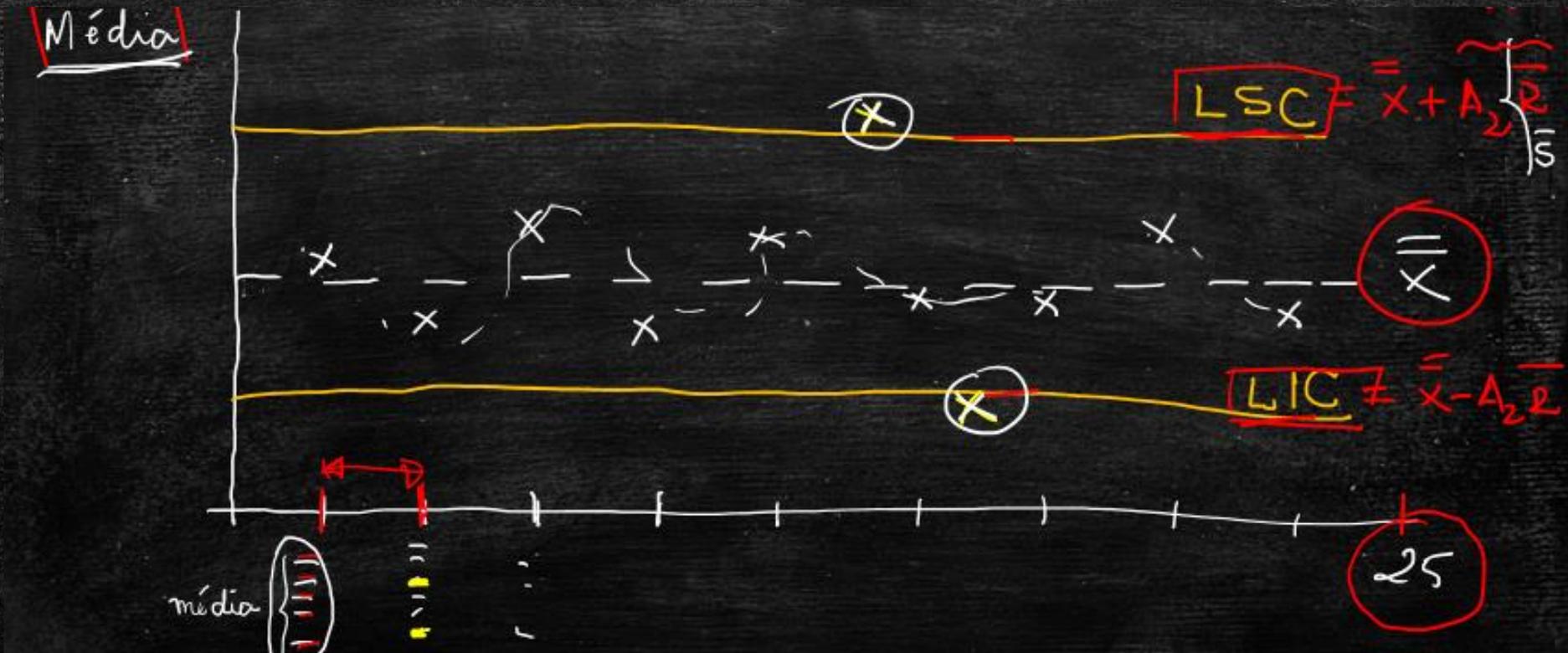
Controle de Qualidade em 100% e Controle de Qualidade por amostragem

No controle de qualidade em 100% (inspeção 100% da produção), todos os itens produzidos são individualmente avaliados e a sua conformidade verificada.

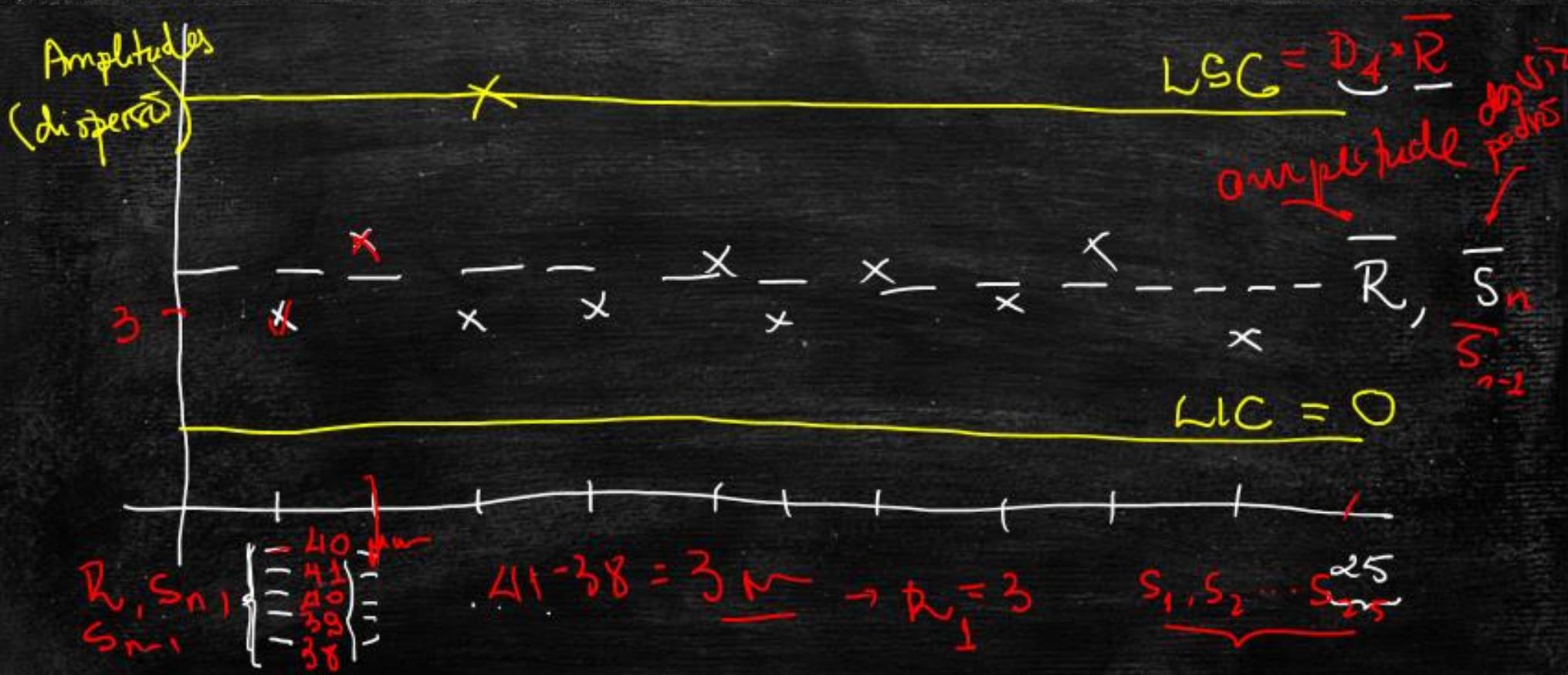
Gráficos de controle por variáveis

Considerações gerais

Controle de qualidade por amostragem



Controle de qualidade por amostragem



LIMITE SUPERIOR DE CONTROLE (LSC)

LIMITE INFERIOR DE CONTROLE (LIC)

média e amplitude

$$\text{LSC} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$$

$$\text{LIC} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

- $\bar{\bar{X}}$ = média das amostras

- \bar{R} = média das amplitudes

amplitude

$$\text{LSC} = D_4 \bar{R}$$

$$\text{LIC} = D_3 \bar{R}$$

$D_3 = 0$ até o tamanho de amostra de 6

A_2, D_3, D_4, d_2

Tab. 2

$$\text{dispersão} = 6 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Fórmulas usadas para os cálculos dos limites de controle por variáveis

NB - 1326 Tabela 1 ANEXO B

LIMITE SUPERIOR DE CONTROLE (LSC)

LIMITE INFERIOR DE CONTROLE (LIC)

média e desvio padrão (n)

- $LSC = \bar{\bar{X}} + A_1 \bar{s}$
- $LIC = \bar{\bar{X}} - A_1 \bar{s}$
 - $\bar{\bar{X}}$ = média das amostras
 - \bar{s} = média dos desvios-padrões (n)

A_1, B_4, B_3 e C_2

Tab. 2

dispersão = $6 \frac{\bar{s}}{c_2}$

Medidas de dispersão

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

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

$B_3 = 0$ de tamanho do subgrupo 5

Fórmulas usadas para os cálculos dos limites de controle por variáveis

NB - 1326 Tabela 1 ANEXO B

LIMITE SUPERIOR DE CONTROLE (LSC)

LIMITE INFERIOR DE CONTROLE (LIC)

média e desvio padrão (n-1)

$$\bullet \text{ LSC} = \bar{X} + A_3 \bar{s}$$

$$\bullet \text{ LIC} = \bar{X} - A_3 \bar{s}$$

- \bar{X} = média das amostras

- \bar{s} = média dos desvios-padrões n-1

amplitude
idem ao anterior

$A_3, C_4 \rightarrow$ Tabela 2

dispersão = $6 \sqrt{\frac{\bar{s}}{C_4}}$ Tabela 2

LIMITE SUPERIOR DE CONTROLE (LSC)

LIMITE INFERIOR DE CONTROLE (LIC)

mediana e amplitude

- $LSC = \tilde{X} + \bar{A}_2 \bar{R}$

- $LIC = \tilde{X} - \bar{A}_2 \bar{R}$

- \tilde{X} = mediana das amostras

- \bar{R} = média das amplitudes

Amplitude (dispersão)

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

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

$\bar{A}_2 \rightarrow \text{tab. 2}$

$$\text{dispersão} = 6 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Fórmulas usadas para os cálculos dos limites de controle por variáveis

NB - 1326 Tabela 1 ANEXO B

Constantes em função do tamanho das amostras

Tabela 2 - Fatores usados nos cálculos dos limites de controle por variáveis

Tamanho do subgrupo n	Fatores										
	A ₁	A ₂	\bar{A}_2	A ₃	B ₃	B ₄	D ₃	D ₄	d ₂	c ₂	c ₄
3	2,394	1,023	1,187	1,954	0	2,568	0	2,575	1,693	0,724	0,886
4	1,880	0,729	0,796	1,628	0	2,266	0	2,282	2,059	0,798	0,921
5	1,596	0,577	0,691	1,427	0	2,089	0	2,115	2,326	0,841	0,940
6	1,410	0,483	0,549	1,287	0,030	1,970	0	2,004	2,534	0,869	0,952
7	1,277	0,419	0,509	1,182	0,118	1,882	0,076	1,924	2,704	0,882	0,959
8	1,175	0,373	0,432	1,099	0,185	1,815	0,136	1,864	2,847	0,903	0,965
9	1,094	0,337	0,412	1,032	0,239	1,761	0,184	1,816	2,970	0,914	0,969
10	1,028	0,308	0,363	0,975	0,294	1,716	0,223	1,777	3,078	0,923	0,973
11	0,973			0,927	0,321	1,679				0,930	0,975
12	0,925			0,886	0,354	1,646				0,936	0,978
13	0,884			0,849	0,382	1,618				0,941	0,979
14	0,848			0,817	0,406	1,594				0,945	0,981
15	0,816			0,788	0,428	1,572				0,949	0,982
16	0,788			0,763	0,448	1,552				0,952	0,983

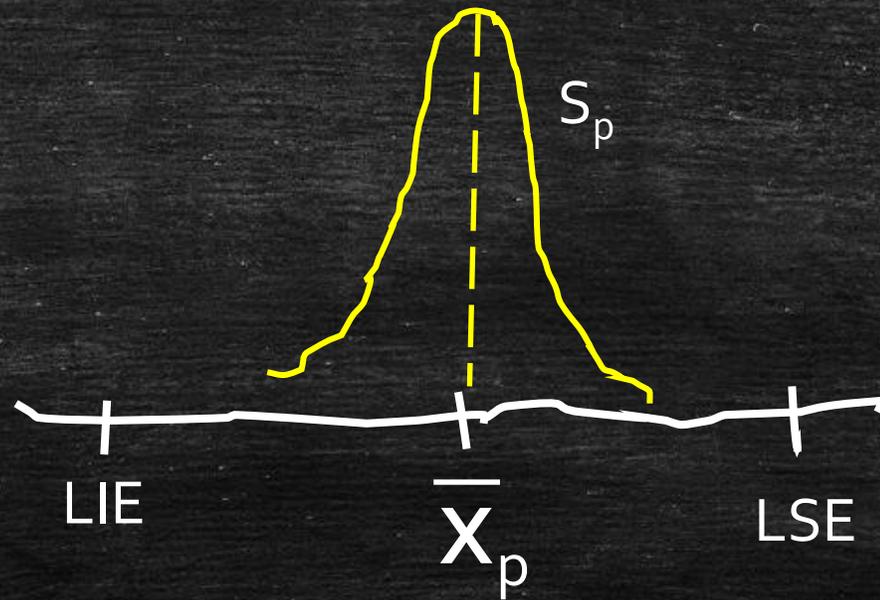
Nota: Valores de n maiores não são recomendados nesta Norma.

Porcentagem de peças dentro dos limites de especificação em função do desvio padrão

Intervalo		Porcentagem de peças
\bar{x}	$\pm 0,67 \sigma$	50,00
\bar{x}	$\pm 1 \sigma$	68,26
\bar{x}	$\pm 1,96 \sigma$	95,00
\bar{x}	$\pm 2 \sigma$	95,46
\bar{x}	$\pm 3 \sigma$	99,73
\bar{x}	$\pm 3,09 \sigma$	99,80
\bar{x}	$\pm 4 \sigma$	99,99

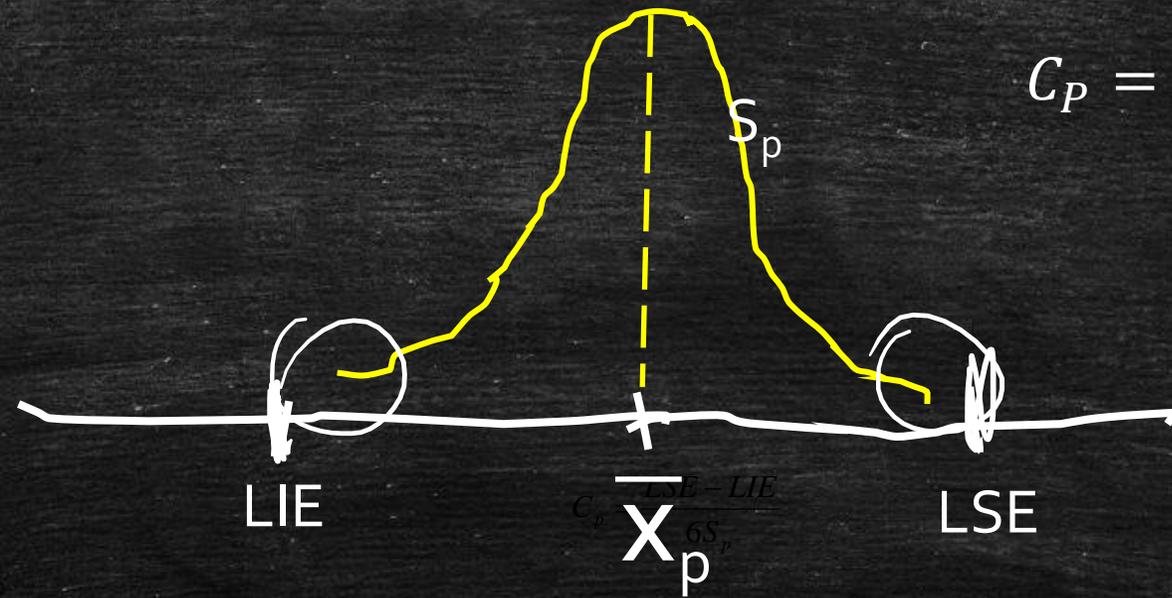
Testes para determinação de causas especiais em gráficos de controle

NB – 1326 ANEXO A Testes de 1 a 8.



Capabilidade do processo

É o índice que permite avaliar sua habilidade de, naturalmente, produzir dentro dos limites das especificações.



$$C_p = \frac{LSE - LIE}{\text{dispersão}} \geq 1,33$$

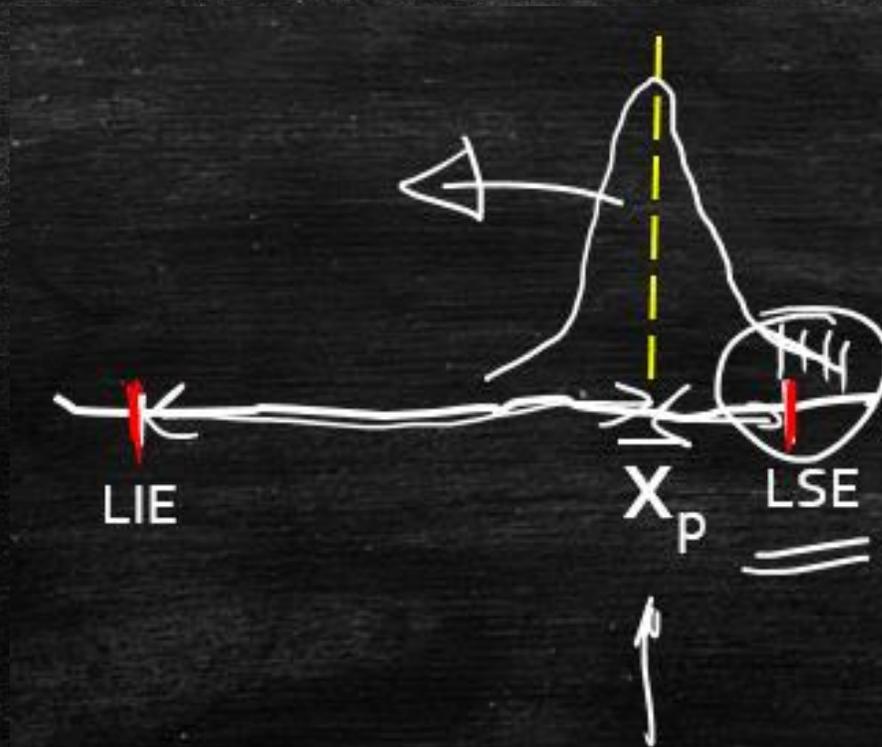
Capabilidade do processo

Processo de fabricação com elevada capacidade. ($C_p > 1,33$)

Variações naturais das condições de operação

- Variações de temperatura
- Características da matéria prima
- Ação do operador
- Degradação natural dos meios de produção
 - desgaste da ferramenta
 - desgaste das máquinas

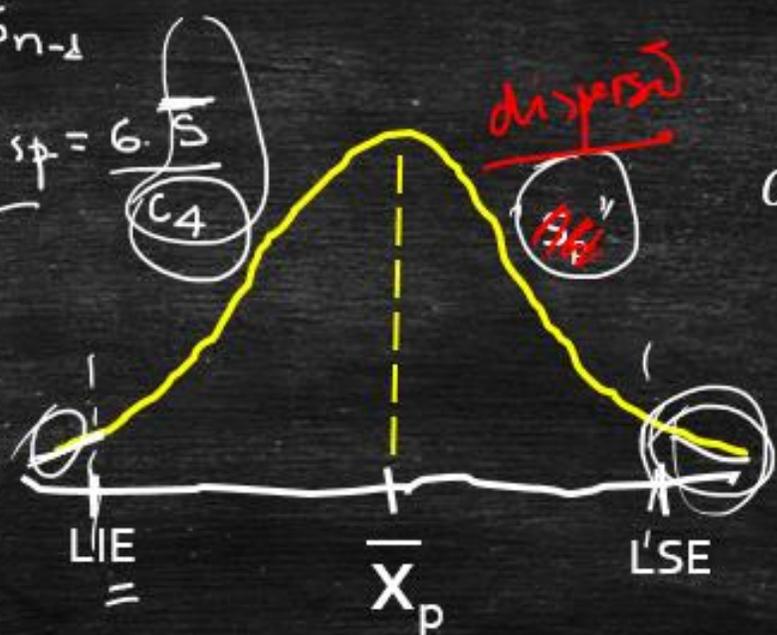
Distribuição normal com erro de ajustagem do processo



$$\text{dispersão} = \frac{6 \sqrt{\overline{S}}}{C_2} \text{ ou } \frac{S_n}{C_2}$$

$$\text{disp} = \frac{6 \cdot S}{C_4}$$

amplitude
dispersão = $\frac{6 \times R}{d_2}$



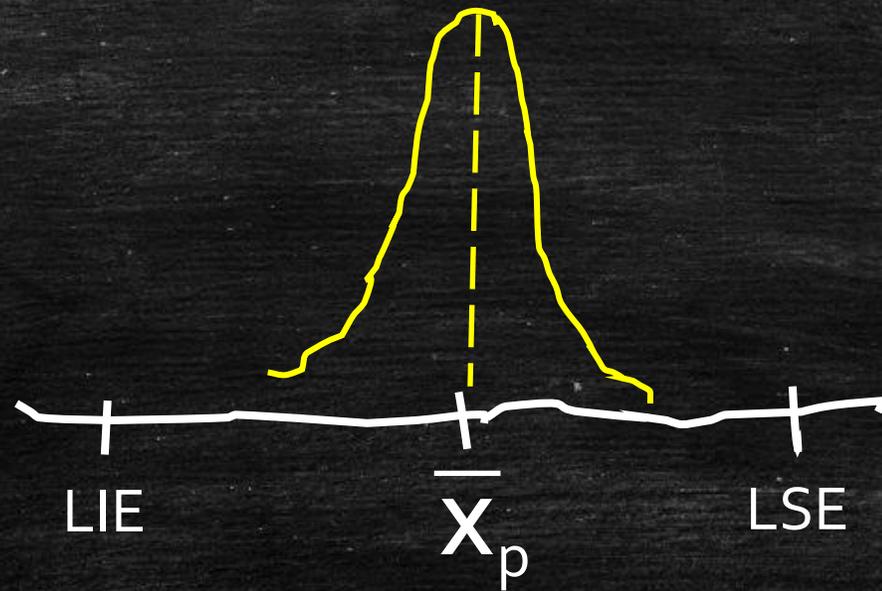
$$C_p = \frac{LSE - LIE}{\text{dispersão}} < 1,00$$

$\sigma \rightarrow$ dispersão

Capabilidade do processo

Processo produtivo com baixa capacidade. ($C_p < 1,00$).

Distribuição normal, com ajustagem correta,
boa dispersão, porém muito superior ao
necessário



$$CP = t \geq \text{dispersão} \Rightarrow CP = \frac{t}{\text{dispersão}} \geq 1$$

CP = capacidade do processo
t = tolerância da peça (mm)

$$CP = \frac{t}{\text{dispersão}}$$

$$CP = \frac{t}{6 \times \left(\frac{\sigma}{d_2} \right)}$$

$$CP = \frac{8}{6} = 1,33$$

Capabilidade do processo

$$C_{PK} = \min[C_{PK_1}, C_{PK_2}]$$

$$C_{PK_1} = \frac{\bar{x} - D_{\min}}{\text{dispersão}/2}$$

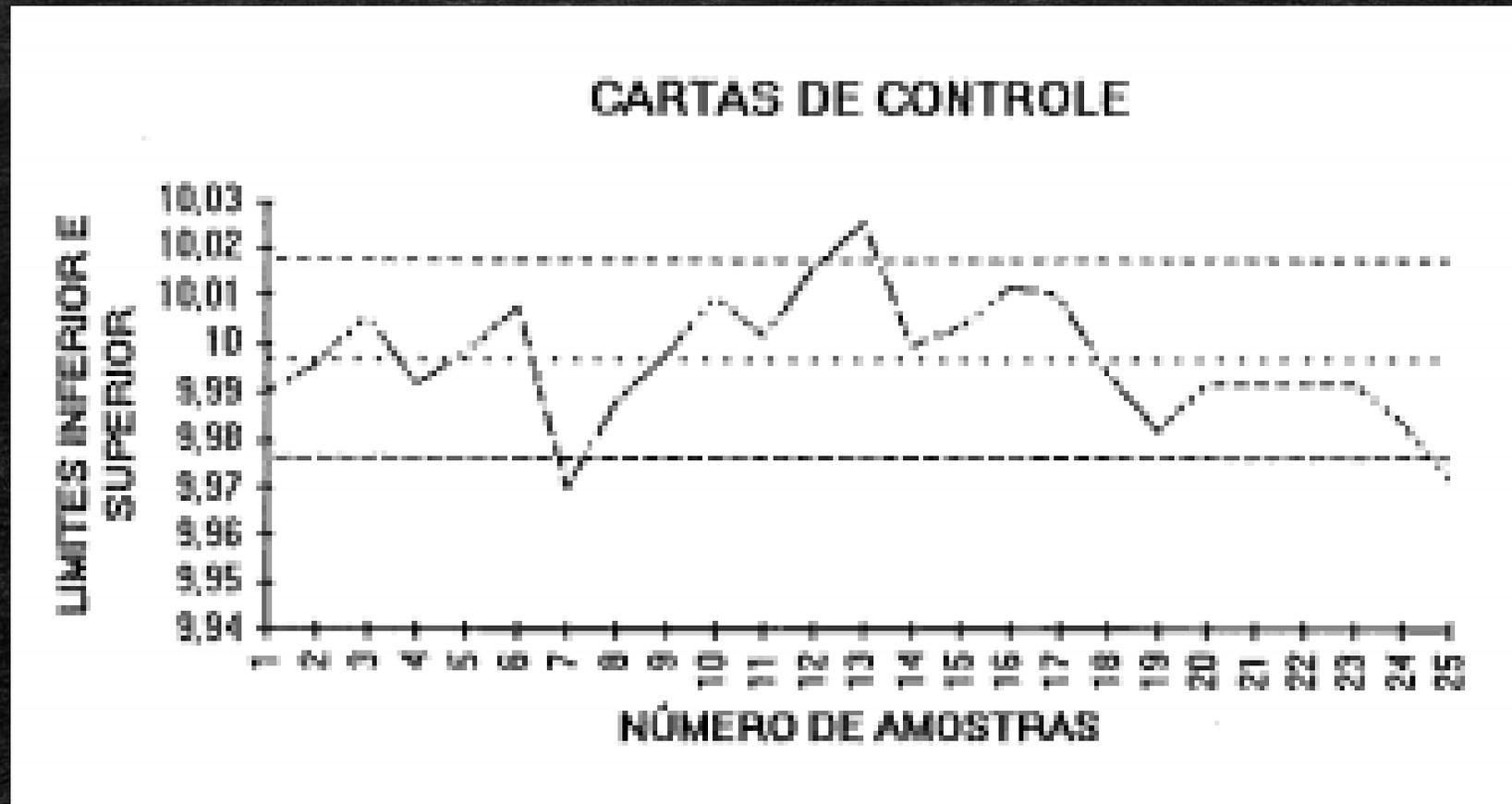
$$C_{PK_2} = \frac{D_{\max} - \bar{x}}{\text{dispersão}/2}$$

D_{\max} = dimensão máxima

D_{\min} = dimensão mínima

\bar{x} = média das amostras

Controle de qualidade por amostragem



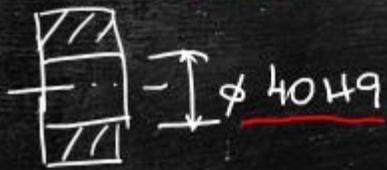
Capabilidade do processo e capabilidade de máquina

	Capabilidade de Máquina	Capabilidade do Processo
Duração	não avaliável	uma semana
Nº de amostras	10 pçs. seguidas	25 subgrupos *

* recomenda-se que cada subgrupo tenha 5 amostras.

Exemplo: para a medida 40H9 determinar a carta de controle, o histograma e a capacidade do processo

IT9
 $40H9 \rightarrow \text{tab. 1 NBR 6193}$
 $= t = 62 \mu\text{m}$



$$D_{\text{máx}} = 40 + 0,062$$

$$D_{\text{mín}} = 40 + 0$$

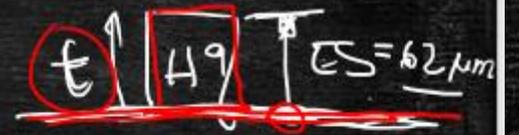
$$D_{\text{máx}} = 40,062 \text{ mm}$$

$$D_{\text{mín}} = 40,000 \text{ mm}$$

LEITURAS DOS VALORES MICROMÉTRICOS					
	a	b	c	d	e
1	44	28	26	42	35
2	40	42	16	34	33
3	20	40	58	40	42
4	30	48	24	26	32
5	32	30	24	24	30
6	60	28	28	38	36
7	32	40	20	22	26
8	38	30	36	18	28
9	30	46	10	44	35
10	46	22	24	36	32
11	32	40	34	42	37
12	34	52	48	16	40
13	50	40	54	16	40
14	26	38	38	20	28
15	42	52	42	54	50
16	46	44	26	10	34
17	36	20	14	32	28
18	28	30	34	38	30
19	32	20	40	36	32
20	28	34	10	36	27
21	32	42	44	36	46
22	34	36	32	27	36
23	48	32	34	46	35
24	40	36	20	32	32
25	34	38	37	34	32

A
M
O
S
T
R
A

$\phi 40 \rightarrow IT9$



$40,044 \text{ mm}$

$44 \mu\text{m}$

LEITURAS DOS VALORES MICROMÉTRICOS					
	a	b	c	d	e
1	44	28	26	42	35
2	40	42	16	34	33
3	20	40	58	40	42
4	30	48	24	26	32
5	32	30	24	24	30
6	60	28	28	38	36
7	32	40	20	22	26
8	38	30	36	18	28
9	30	46	10	44	35
10	46	22	24	36	32
11	32	40	34	42	37
12	34	52	48	16	40
13	50	40	54	16	40
14	26	38	38	20	28
15	42	52	42	54	50
16	46	44	26	10	34
17	36	20	14	32	28
18	28	30	34	38	30
19	32	20	40	36	32
20	28	34	10	36	27
21	32	42	44	36	46
22	34	36	32	27	36
23	48	32	34	46	35
24	40	36	20	32	32
25	34	38	37	34	32

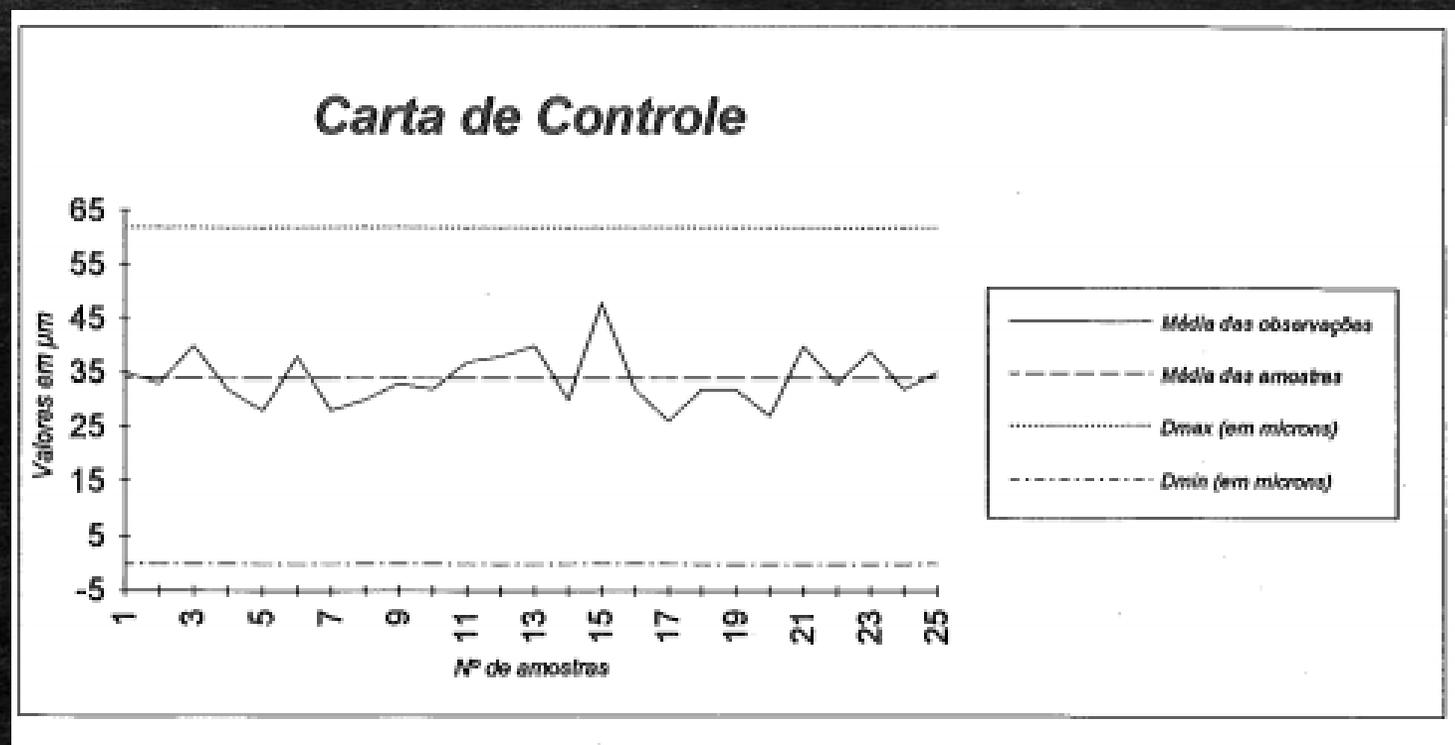
A
M
O
S
T
R
A

	LEITURAS DOS VALORES MICROMÉTRICOS					Soma	Média	R	
	a	b	c	d	e				
A	1	44	28	26	42	35	175	35	18
M	2	40	42	16	34	33	165	33	26
O	3	20	40	58	40	42	200	40	38
S	4	30	48	24	26	32	160	32	24
T	5	32	30	24	24	30	140	28	8
R	6	60	28	28	38	36	190	38	32
A	7	32	40	20	22	26	140	28	20
	8	38	30	36	18	28	150	30	20
	9	30	46	10	44	35	165	33	36
	10	46	22	24	36	32	160	32	24
	11	32	40	34	42	37	185	37	10
	12	34	52	48	16	40	190	38	36
	13	50	40	54	16	40	200	40	38
	14	26	38	38	20	28	150	30	18
	15	42	52	42	54	50	240	48	12
	16	46	44	26	10	34	160	32	36
	17	36	20	14	32	28	130	26	22
	18	28	30	34	38	30	160	32	10
	19	32	20	40	36	32	160	32	20
	20	28	34	10	36	27	135	27	26
	21	32	42	44	36	46	200	40	14
	22	34	36	32	27	36	165	33	9
	23	48	32	34	46	35	195	39	16
	24	40	36	20	32	32	160	32	20
	25	34	38	37	34	32	175	35	6

Limites	0-6	7-12	13-18	19-24	25-30	31-36	37-42	43-48	49-54	55-60	60-66
Frequência	0	3	6	12	22	38	25	12	6	2	0

Média das amostras 34 microns
Média das amplitudes 21,56 microns

Carta de controle



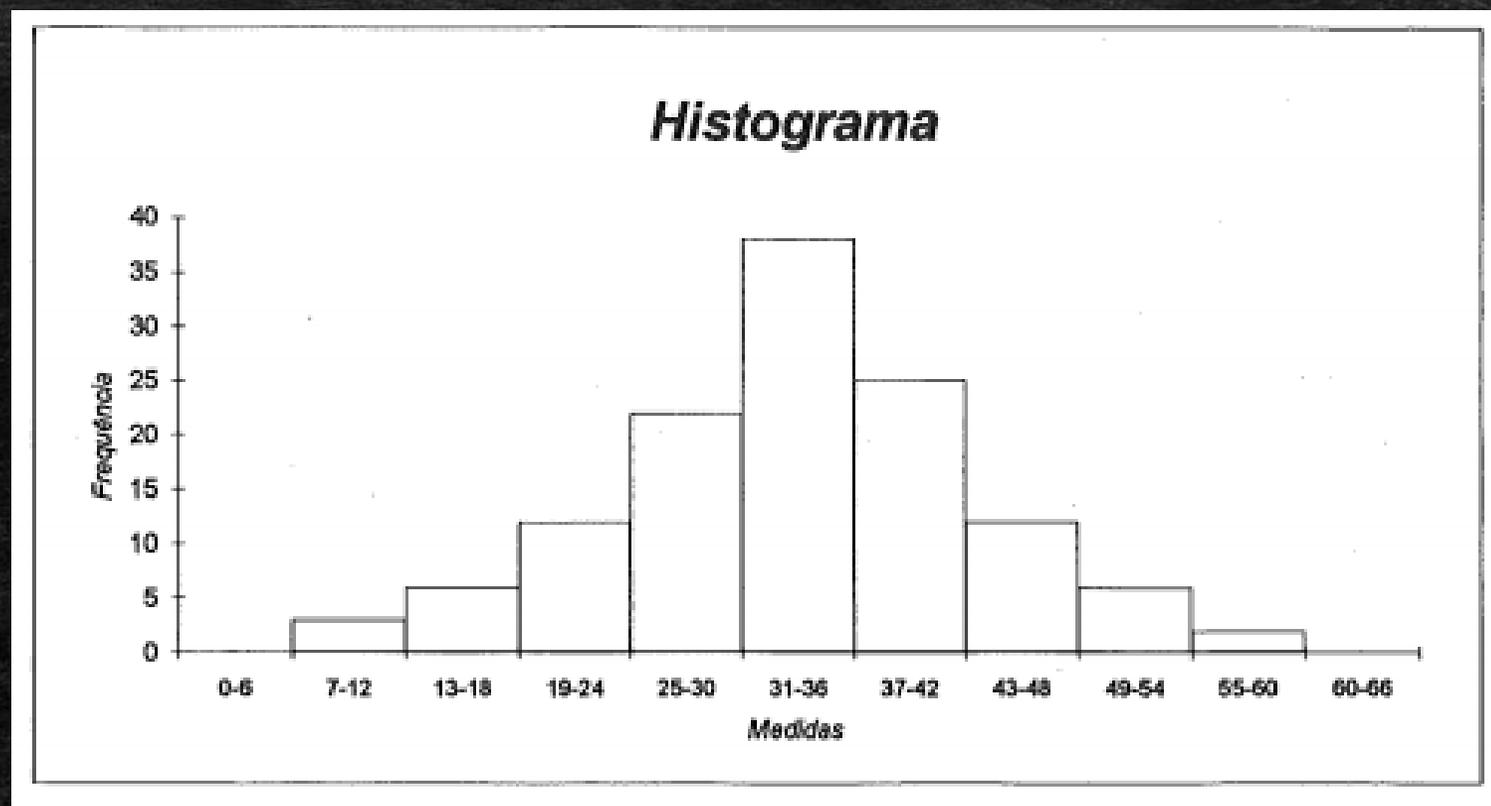
Histograma: gráfico constituído de retângulos de mesma base e altura proporcional à frequência

$$n \leq 25 \Rightarrow K = 5$$

$$n > 25 \Rightarrow K = \sqrt{n}$$

$$K = \sqrt{5 \times 25} \cong 11 \text{ retângulos}$$

Histograma



Capabilidade do processo

Cálculo de Cp, CPk1 e CPk2

$$\begin{aligned}\bar{R} &= 21,56 \text{ (dados coletados)} \\ d_2 &= 2,33 \text{ (tabela 2)} \\ \bar{\bar{x}} &= 34\mu\text{m}\end{aligned}$$

$$\text{dispersão} = 6 \frac{\bar{R}}{d_2}$$

$$\frac{\bar{R}}{d_2} = 9,25 \mu\text{m}$$

$$CP = \frac{t}{\text{dispersão}} = \frac{62 \mu\text{m}}{6 \times 9,25 \mu\text{m}} = 1,11 < 1,33$$

$$CP_{k1} = \frac{\bar{\bar{x}} - D_{\text{mín}}}{\text{dispersão}/2} = 1,22 < 1,33$$

$$CP_{k2} = \frac{D_{\text{máx}} - \bar{\bar{x}}}{\text{dispersão}/2} = 1,00 < 1,33$$

Capabilidade do processo

O processo, portanto, produz dentro do intervalo de especificação, mas sem margem de segurança. Para que o processo seja considerado capaz, deve operar dentro de 75% da tolerância especificada.

=

↳
realmente

$CPk_1 \neq CPk_2$ significa que o processo não está centrado

O processo deve estar centrado e operando dentro de 75% do limite total especificado, ou seja, $CPk_1 = CPk_2 = 1,33$

Gráficos CUSUM

Definição: Gráficos de controle comuns não levam em consideração os pontos anteriores, i.e., são insensíveis a pequenas mudanças no processo depois que este está estabilizado, ou não, está em estado de controle estatístico.

Planejando um gráfico CUSUM

Determine os parâmetros

k = magnitude da mudança

$$\rightarrow k = \frac{1}{2} \sigma_k$$

h = intervalo de confiança p/ detecção de causas especiais

$$h = \underline{4} \text{ a } \underline{5} \text{ "}\sigma\text{"}$$

Determinação dos pontos

Definições:

$$C_{i+} = \max \left[0; x_i - (\mu_0 + k) + C_{i-1+} \right]$$

$$C_{i-} = \max \left[0; (\mu_0 - k) - x_i + C_{i-1-} \right]$$

onde x_i = valor da amostra
 μ_0 = valor de referência (div)

C_{i+} = ponto do lado azul (+)

C_{i-} = ponto do lado vermelho (-)

40,419

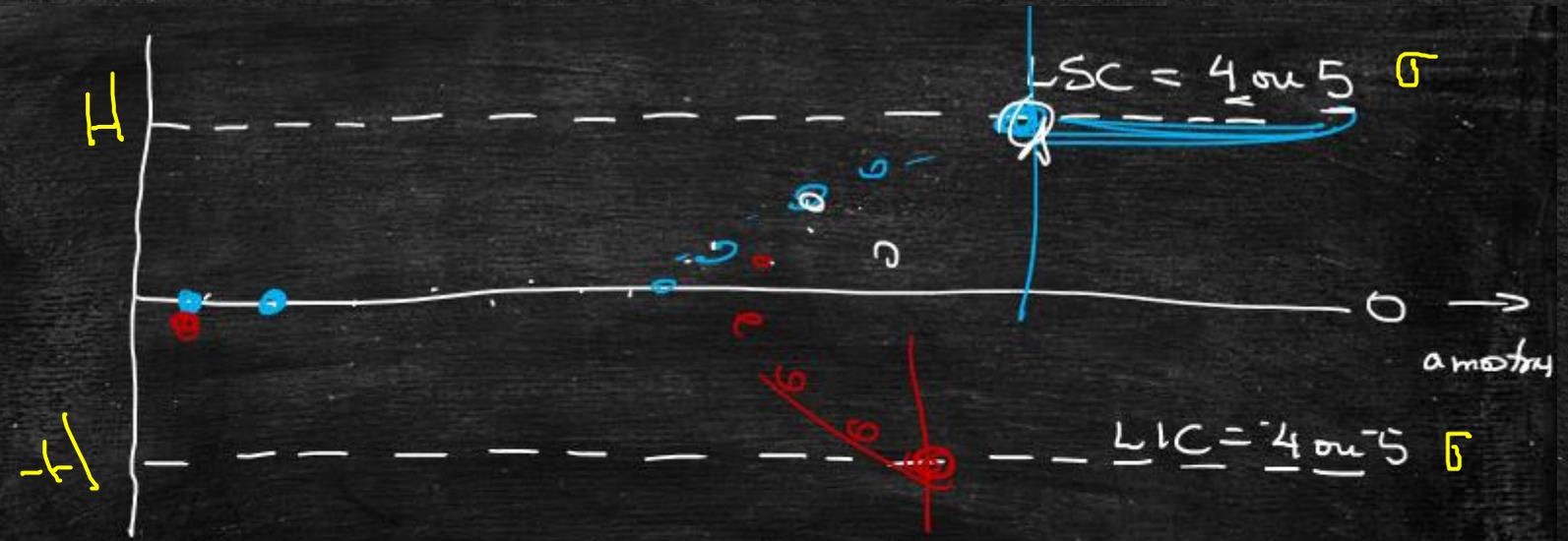
40,062
40,000

| 62 μm
| 0

31 μm

$k = \frac{1}{2} \sigma$
 $H = 4 \text{ a } 5 \sigma$

$K = k \sigma \rightarrow$ sensibilidade (valor de referência)
 $H = h \sigma \rightarrow$ limites (intervalo de decisão)



Exemplo: Para a dimensão 40H9 do exemplo anterior, construa um gráfico CUSUM com 5 dados coletados.

$k = \frac{1}{2} \sigma = \frac{9,25}{2} = 4,625 \mu\text{m}$



$\bar{x} = 34 \mu\text{m}$
 $M_0 = 31 \mu\text{m}$
 $ES = 62 \mu\text{m}$
 dispersão = $\bar{R} = \frac{21,56}{2} = 10,78$
 dispersão = $9,25 \mu\text{m}$

Fazer a planilha:

$$C_{1+} = \max \left[0; 35 - \underbrace{(31 + 4,625)}_{35,625} + 0 \right] = 0 \quad \uparrow$$

$$C_{2+} = \max \left[0; 33 - \underbrace{(35,625)} + 0 \right] = 0$$

$$C_{3+} = \max \left[0; 40 - \underbrace{(35,625)} + 0 \right] = 4, \dots$$

$$C_{1-} = \max \left[0; \underbrace{(31 - 4,625)}_{\sim 26} - \overset{35}{\cancel{26}} + 0 \right] = 0$$