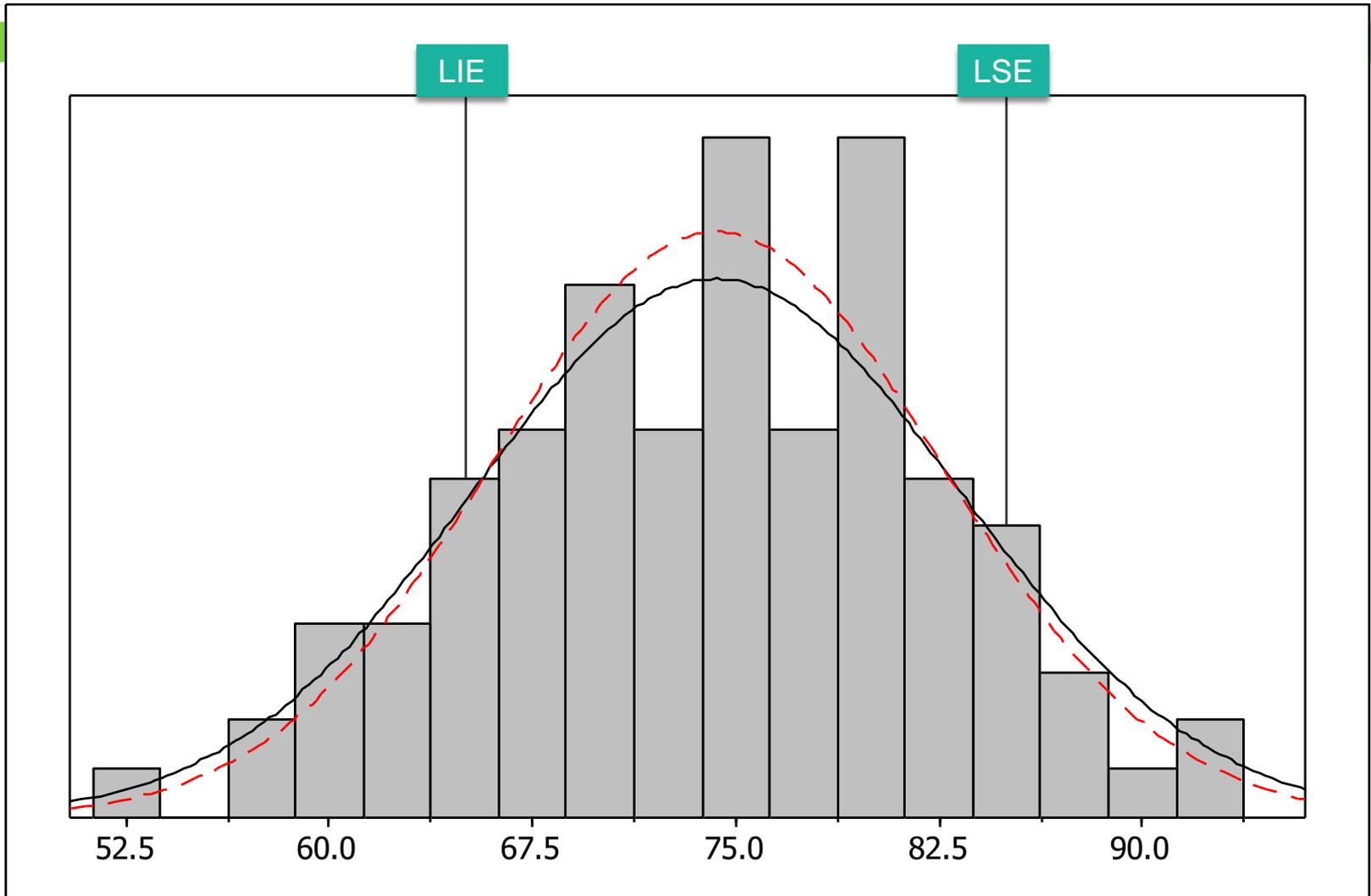


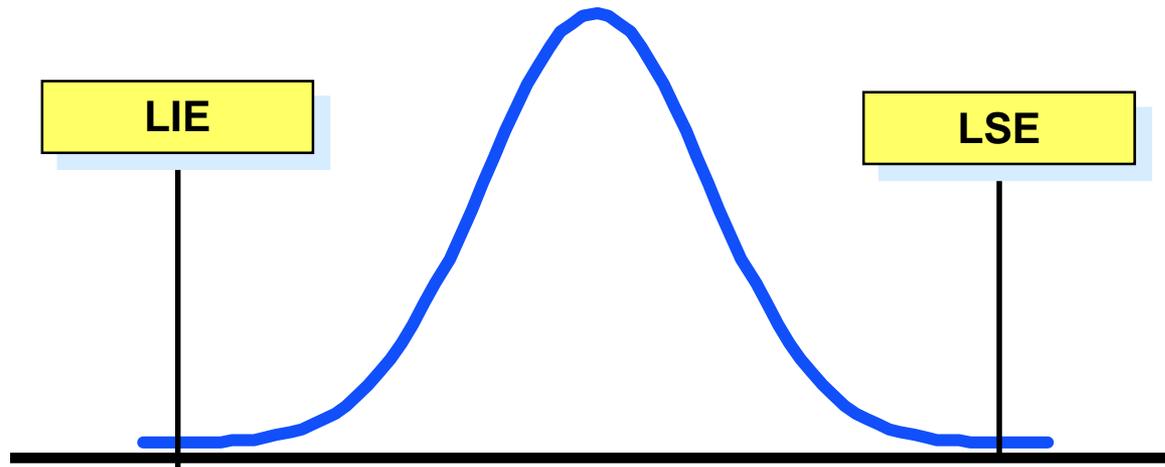
CAPACIDADE DE PROCESSO

Gestão da Produção

Prof. Eveline Pereira

Distribuição Normal de Dados





Frequentemente, quando temos dados coletados de um processo de fabricação, fazemos o seguinte questionamento:

Este processo é capaz de fornecer produtos livres de defeitos?

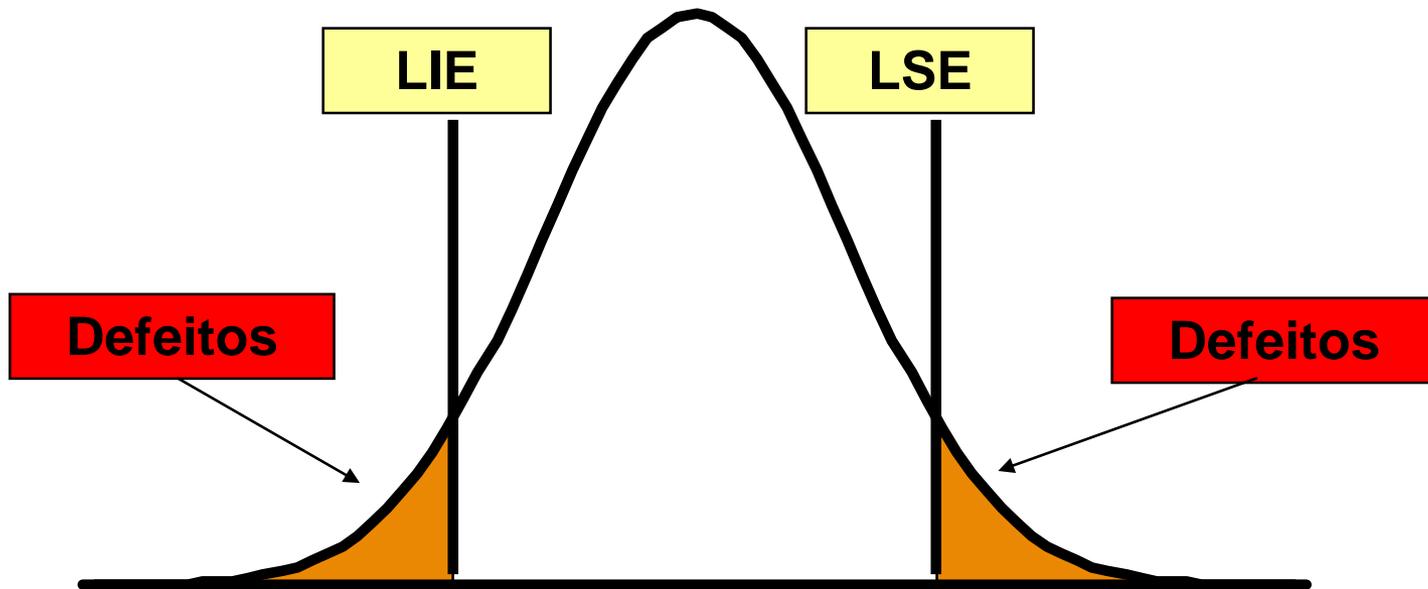
Processo estável

- É possível que mesmo um processo com variabilidade controlada produza itens defeituosos.
- Não é suficiente colocar e manter um processo sob controle, é necessário **avaliar se o processo é capaz de atender às especificações estabelecidas** a partir dos desejos e necessidades dos clientes.
- Esta avaliação é que constitui o **estudo da capacidade do processo**.
- **Somente processos estáveis devem ter sua capacidade avaliada**

○ que causa defeitos em um produto?

- Excesso de variações devido a:
 - Processo de manufatura
 - Variações de material vindas do fornecedor
 - Tolerâncias irracionais (tolerâncias extremamente apertadas por requisitos de cliente)

Entender a Capabilidade do Processo

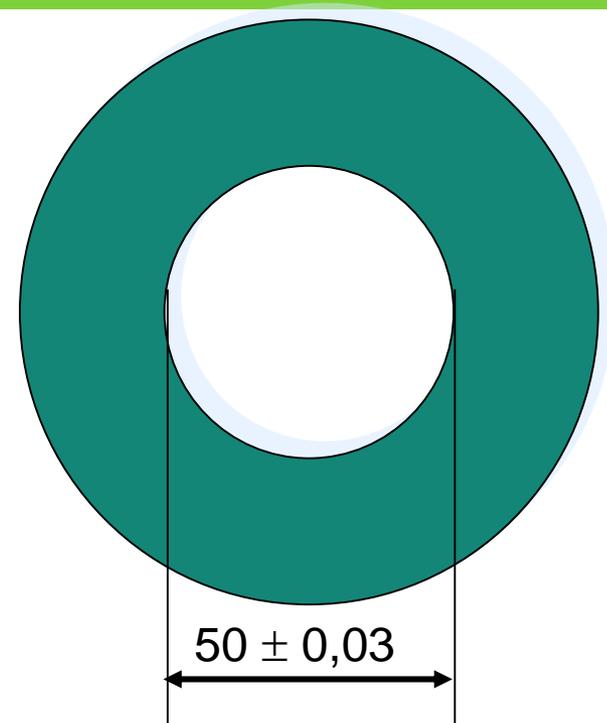


Especificações de um produto



LSE = 250,10mm

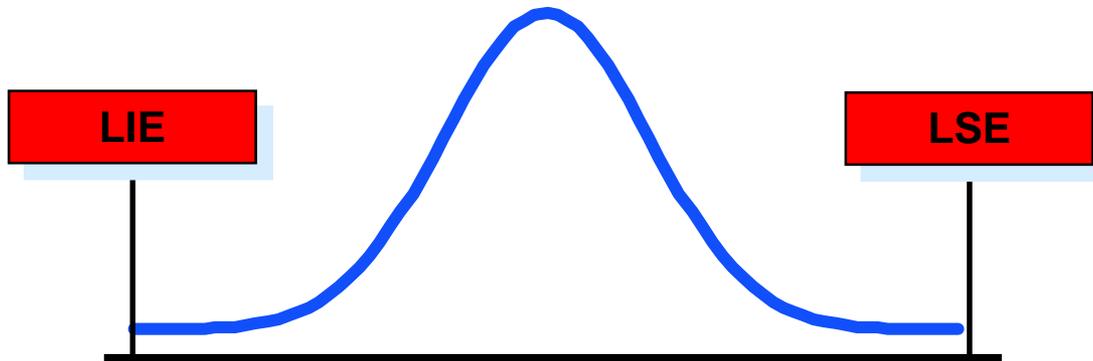
LIE = 249,90mm



LSE = 50,03mm

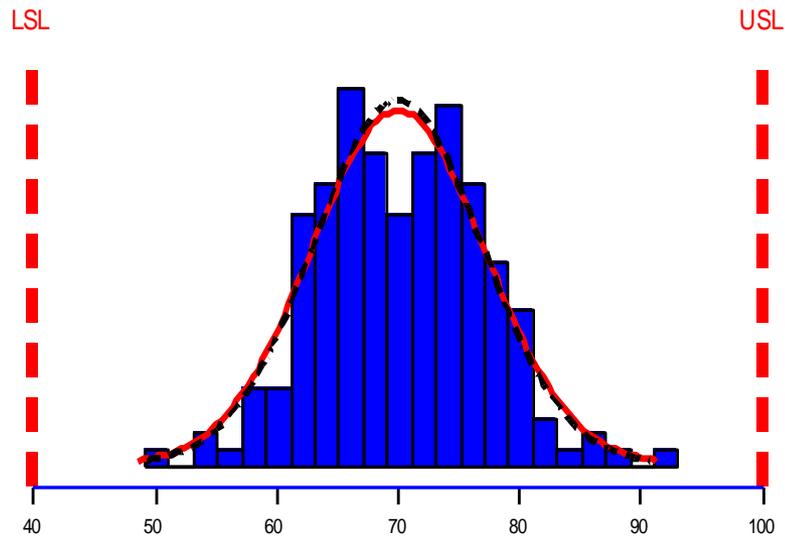
LIE = 49,97mm

Comparando a “voz do processo” e a “voz do cliente”
teremos as métricas de capacidade.

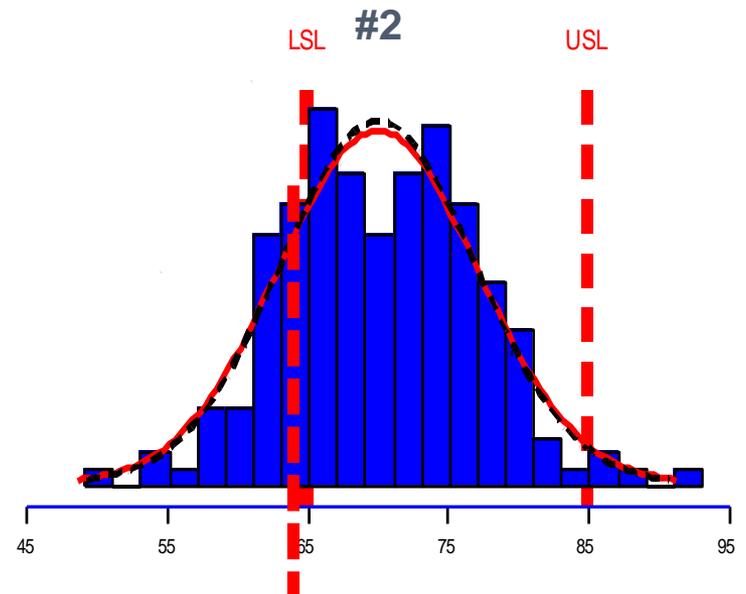


Qual destes processos irá produzir a menor quantidade de defeitos?

Qual destes processos tem a melhor capacidade?



#1



□ Um processo pode não ser capaz por apresentar:

⇒ Elevada variabilidade

e/ou

⇒ Média deslocada em relação ao ponto médio dos limites de especificação.

Índices de Capacidade

- Os índices de capacidade processam as informações de forma que seja possível **avaliar se um processo é capaz de gerar produtos que atendam às especificações provenientes dos clientes internos e externos.**
- Para utilizar os índices de capacidade é necessário que:
 - **O processo esteja sob controle estatístico**
 - **A variável de interesse tenha distribuição próxima da normal.**

Índice C_p

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

- O índice C_p relaciona aquilo que se deseja produzir, que corresponde à **variabilidade permitida ao processo (LSE-LIE)**, com a **variabilidade natural do processo (6σ)**. Quanto maior for o valor de C_p , maior será a capacidade do processo em satisfazer as especificações, desde que a média μ esteja centrada no valor nominal.
- Como o desvio padrão do processo usualmente é desconhecido, deveremos substituí-lo por uma estimativa $\hat{\sigma}$ (s , R/d_2 ou s/c_4).

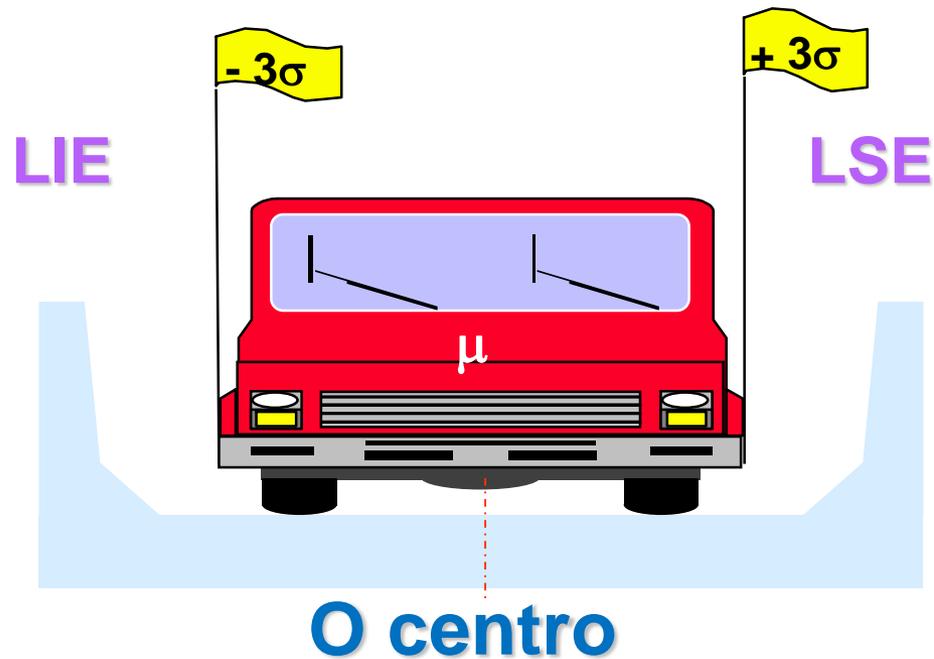
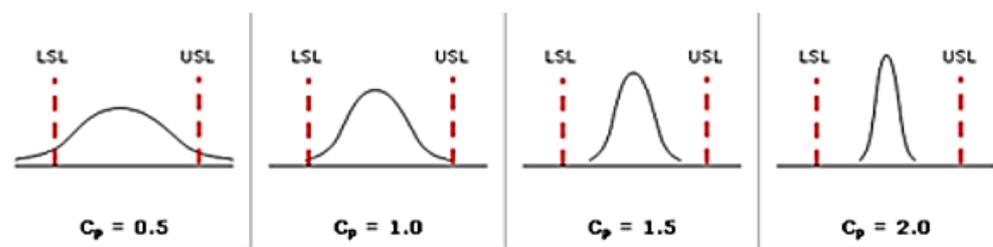
$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

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

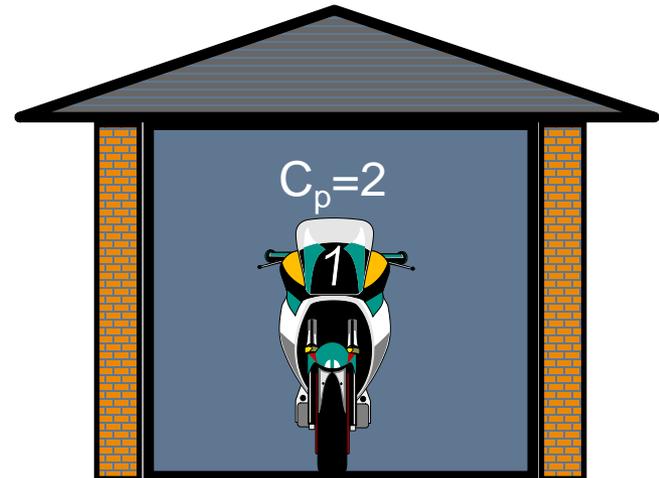
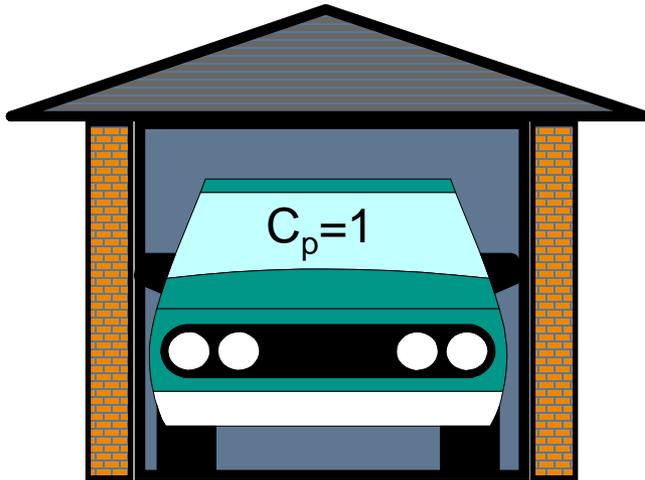
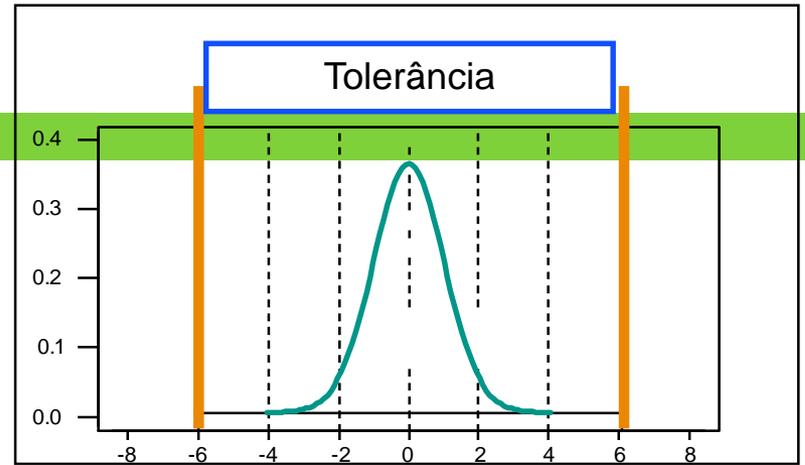
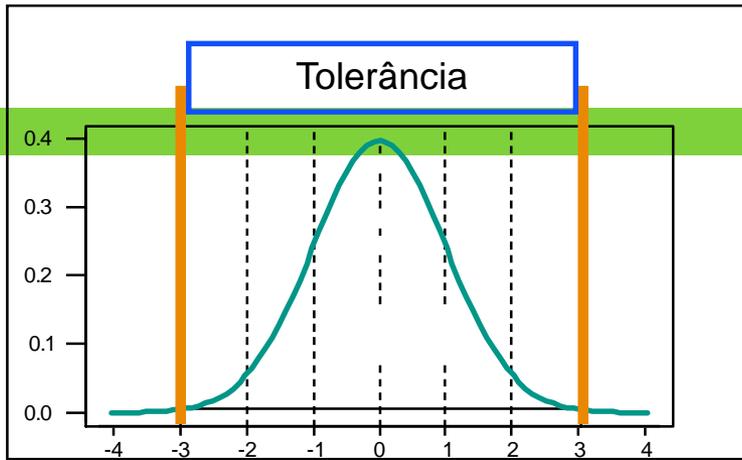
O valor mínimo exigido para C_p é 1,33.

Se $C_p = 2$, a faixa de especificação é 2 vezes mais ampla que a faixa de dispersão dos dados

Se $C_p = 1$, a faixa de especificação é a mesma que a faixa de dispersão dos dados



$$C_p = \frac{\text{Amplitude da especificação (estrada)}}{\text{Variação do processo (caminhão)}} = \frac{(LSE - LIE)}{6 \sigma}$$



Qual situação é melhor? Por quê?

Índice C_{pk}

- O índice C_{pk} nos permite avaliar se o processo está sendo capaz de atingir o valor nominal da especificação, já que ele leva em consideração **o valor da média do processo**. Logo, este índice pode ser interpretado como uma **medida da capacidade real do processo**.

$$C_{pk} = \text{Mín} \left(\frac{\bar{\bar{X}} - LIE}{3\sigma}, \frac{LSE - \bar{\bar{X}}}{3\sigma} \right)$$

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

- Quando a média do processo coincide com o valor nominal, teremos $C_p = C_{pk}$. Neste caso, dizemos que o processo está **centrado**.

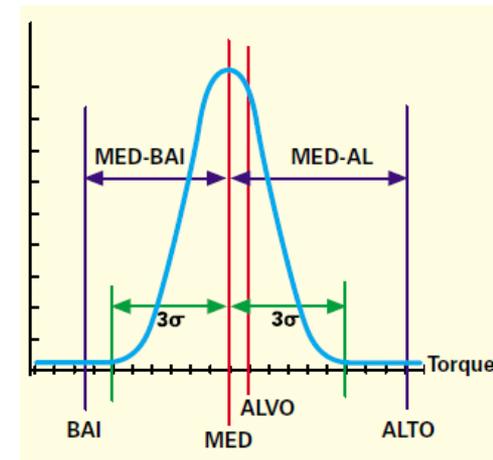
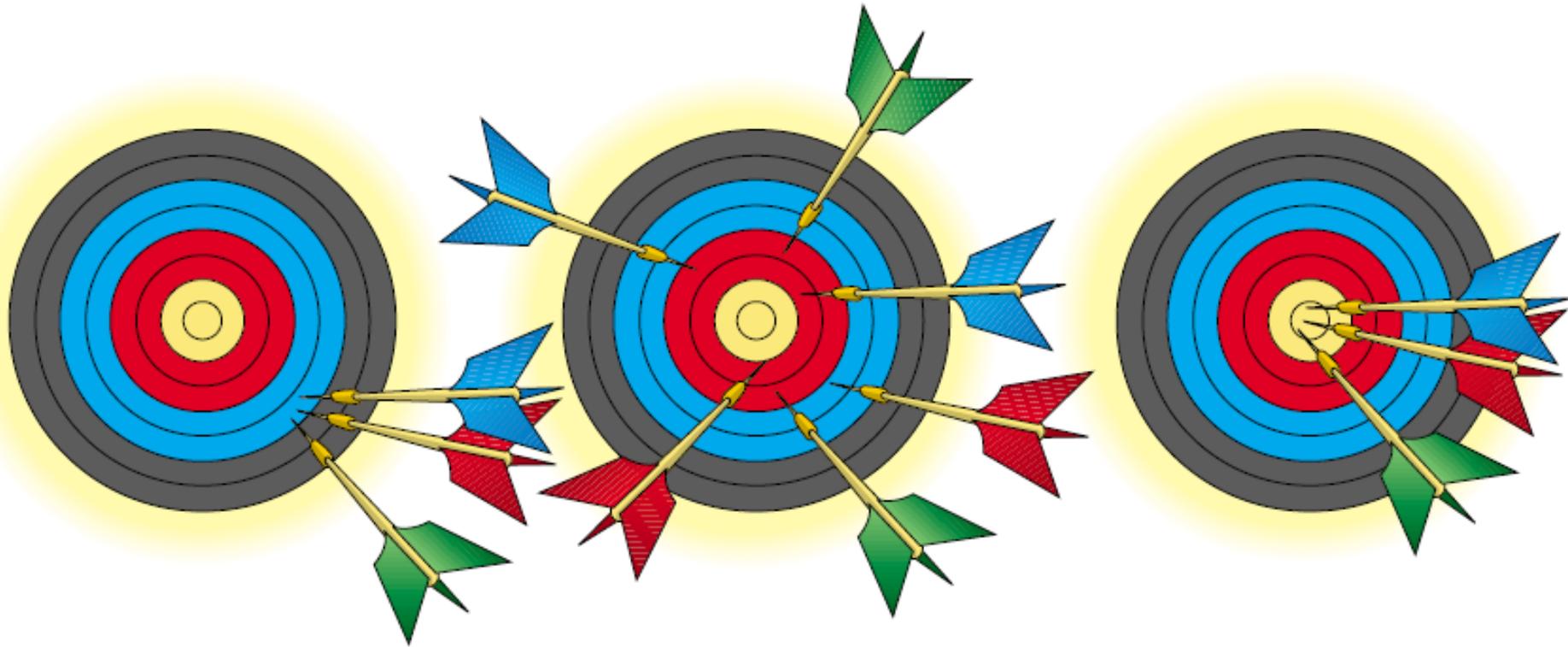


Figura 14. Quando o C_{pk} é calculado, o valor-alvo também é considerado.

Cp ou Cpk ?

- Cp e Cpk são grandezas que medem a capacidade de um processo.
- Cp é responsável por indicar a dispersão do processo.
- Cpk é responsável por indicar a centralização do processo.

Cp e Cpk

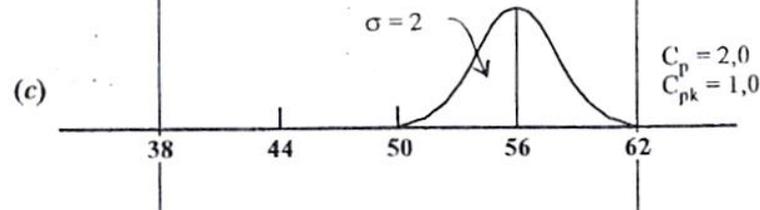
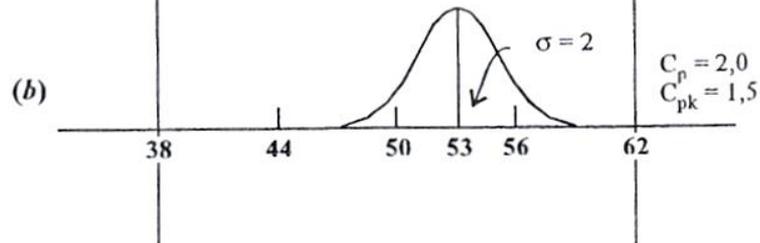
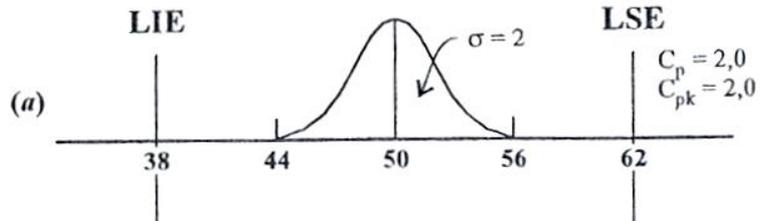


*Alvo para dardos 1:
Cp alto e Cpk baixo.*

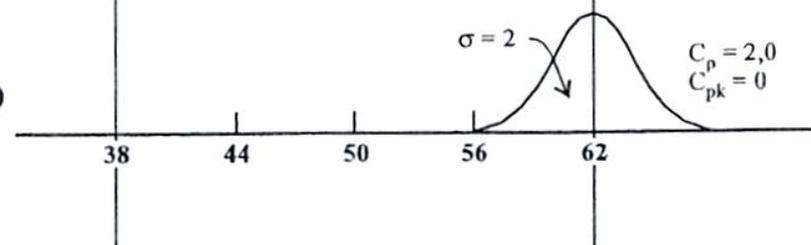
*Alvo para dardos 2:
Cp baixo e Cpk baixo.*

*Alvo para dardos 3:
Cp alto e Cpk alto.*

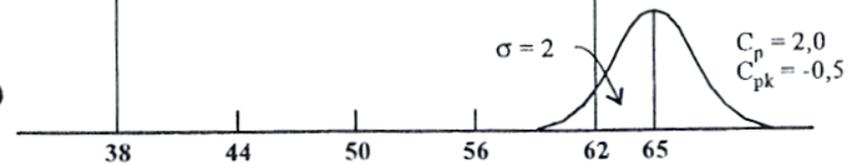
Cp versus Cpk



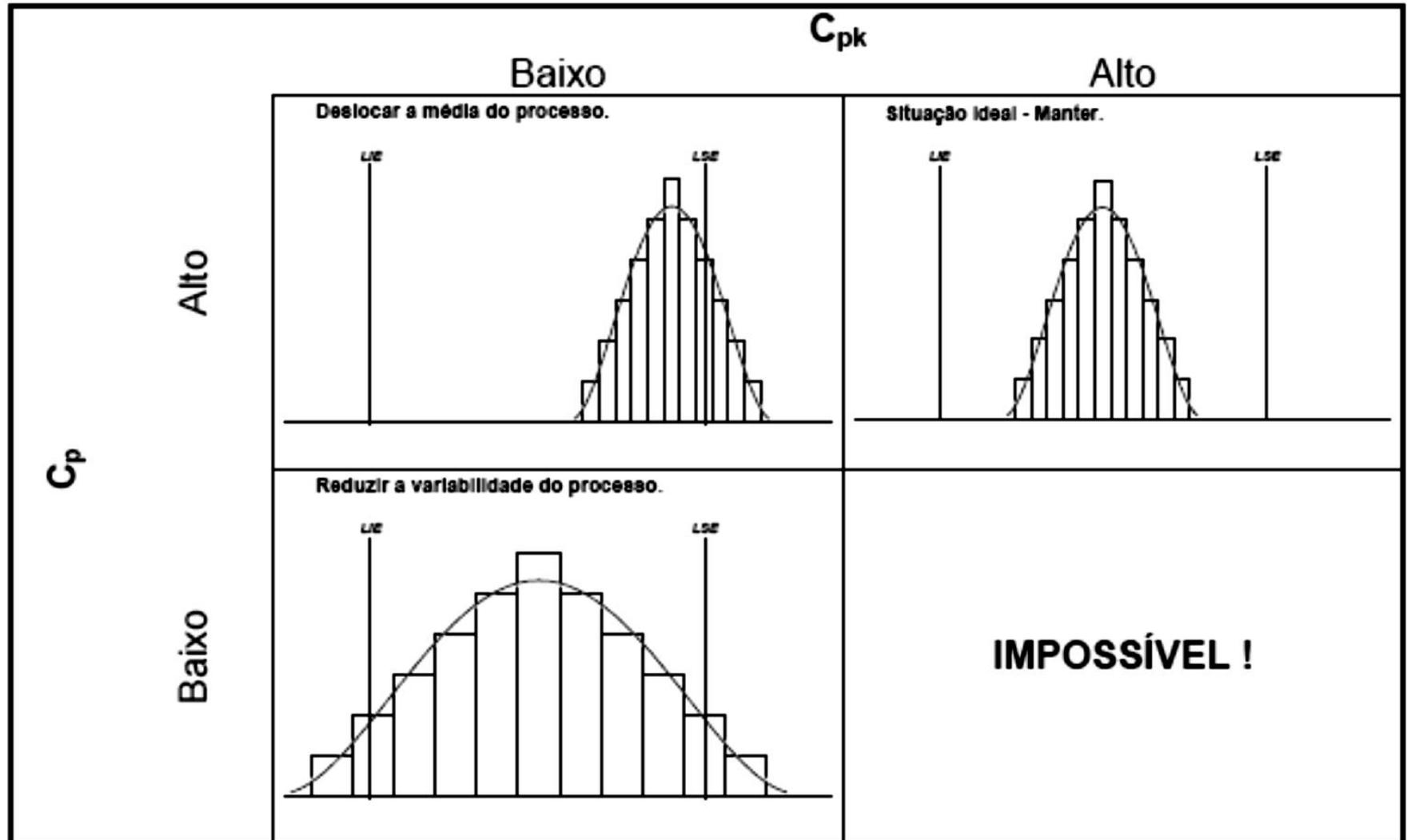
(d)

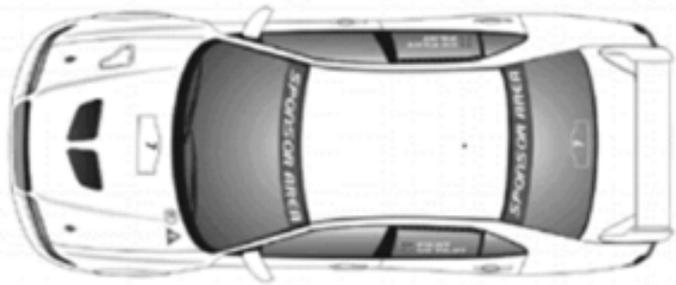


(e)

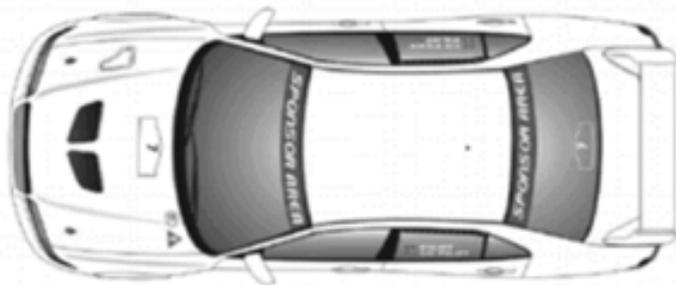


Relação entre C_p e C_{pk}

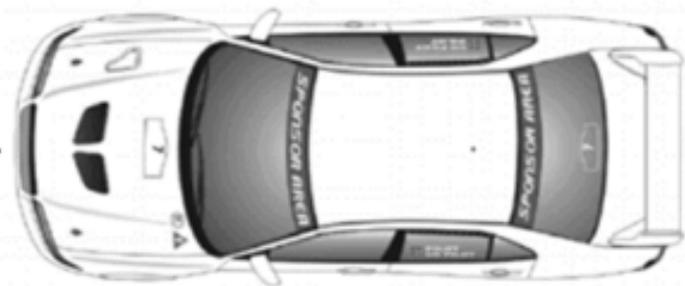




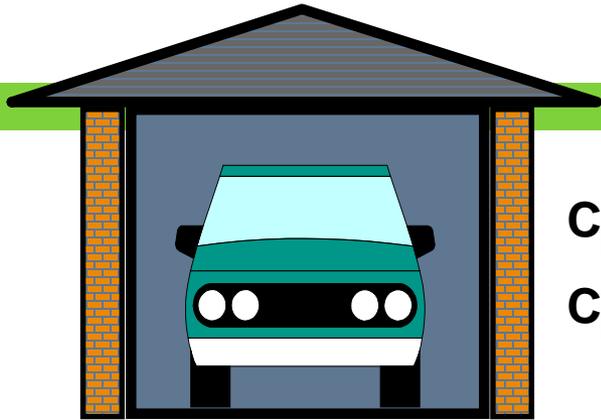
Proceso
Capaz y
centrado
 $C_p=C_{p_k}$



Proceso
Capaz pero
descentrado
 $C_p \neq C_{p_k}$

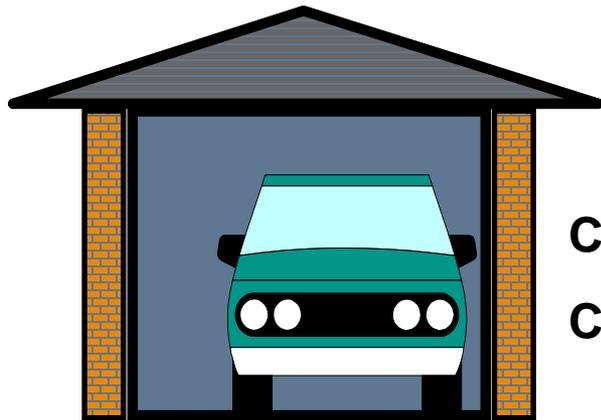
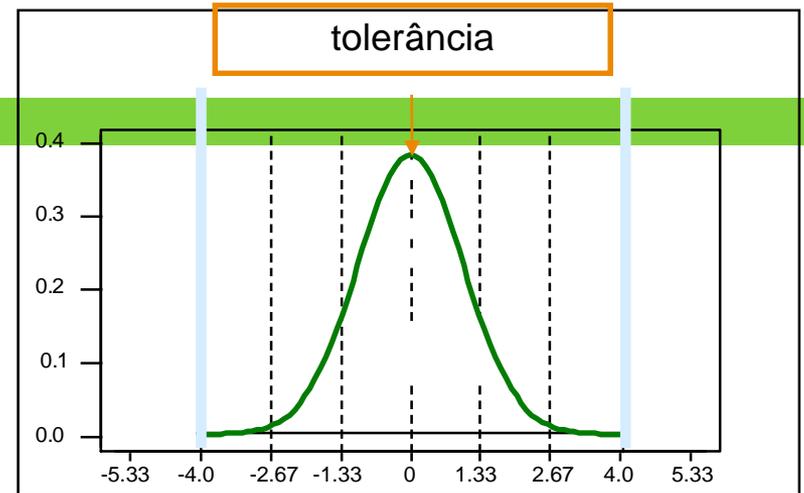


Proceso
No Capaz
 $C_p < 1$



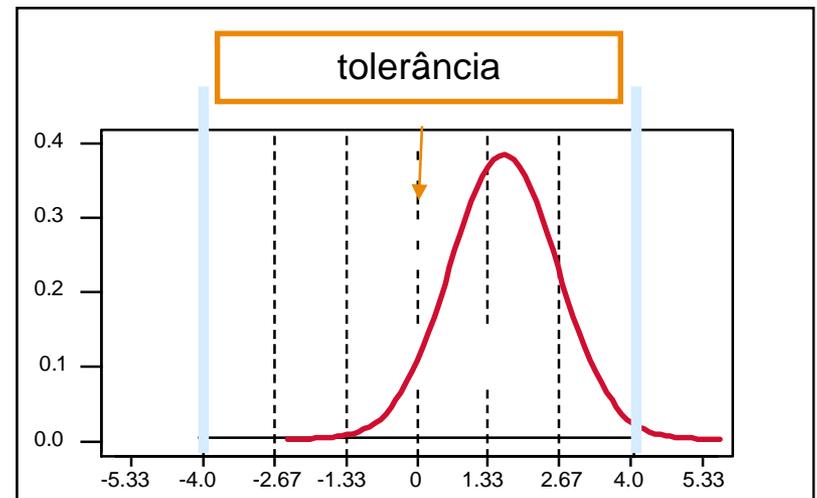
$$C_p = 1.33$$

$$C_{pk} = 1.33$$



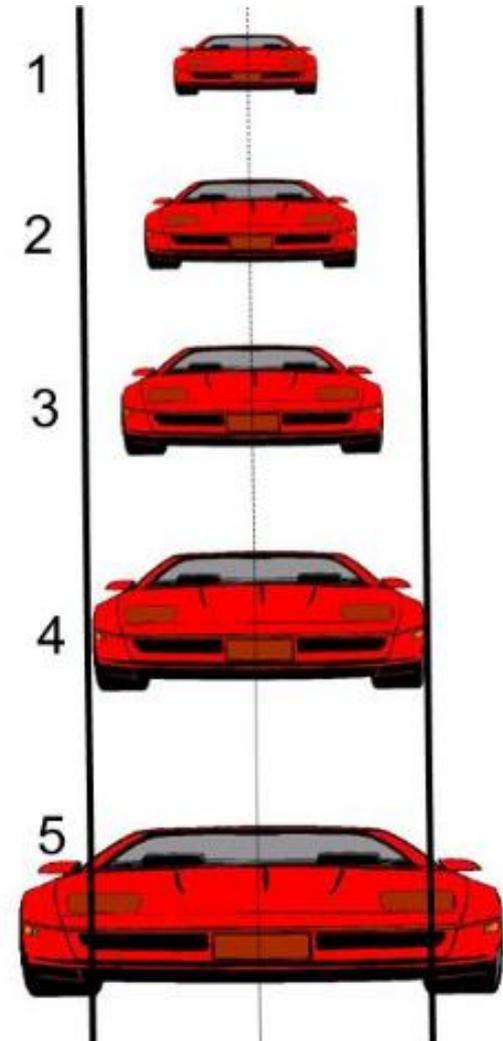
$$C_p = 1.33$$

$$C_{pk} = 0.83$$



Análise

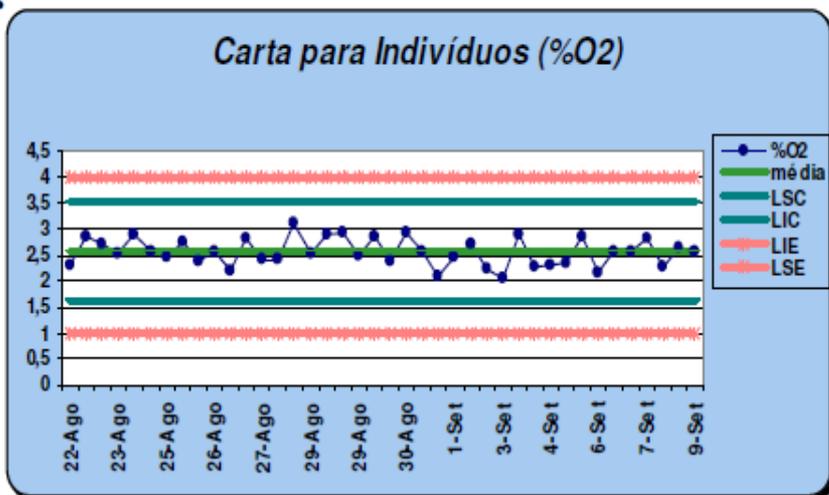
- 1 – O carro pode se deslocar lateralmente com folga que ainda assim estará dentro da pista de rolamento – **processo muito capaz** (pouco provável que saia da pista)
- 2 e 3 – Situações ainda razoavelmente tranqüila para o motorista – **processo capaz**
- 4 – Qualquer deslocamento lateral do carro colocará o mesmo fora da pista - **processo aceitável (marginal)**(sai da pista com frequência)
- 5 – O carro naturalmente já maior que a pista - **processo incapaz** (Ele ficará todo tempo fora da pista de rolamento)



Situações

1.

Sob Controle / Capaz:

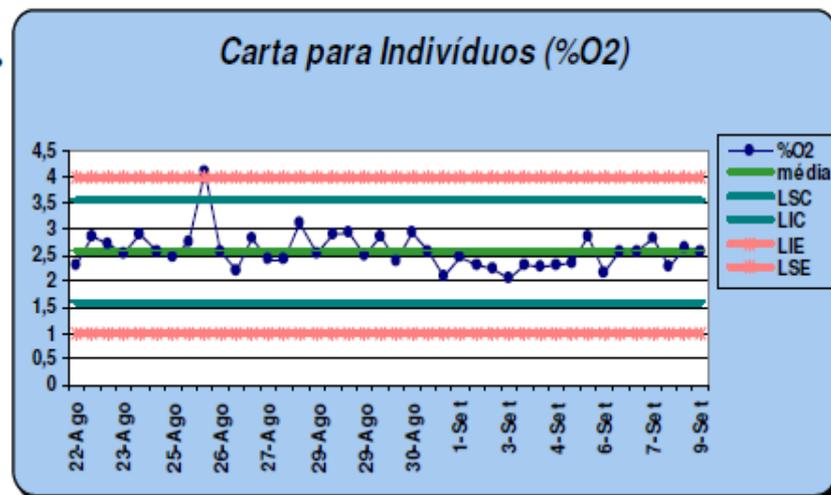


Indicadores	
CP	= 1,58809
CPs=	1,526555
CPI=	1,649625
CPK	= 1,52656

Situação ótima. Os gráficos mostram estabilidade e as especificações são atendidas.

2.

Fora de Controle / Capaz:

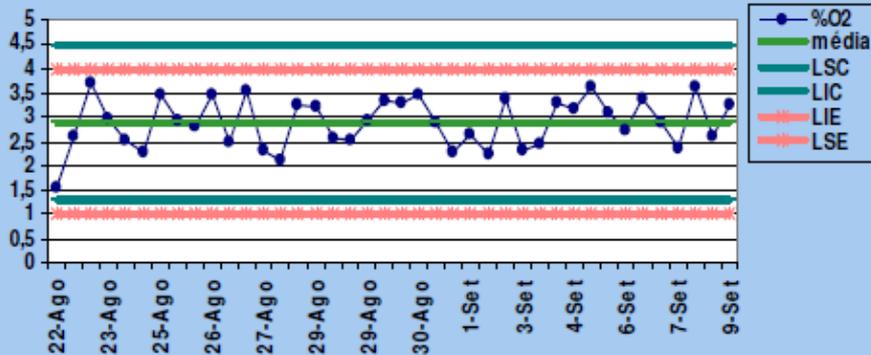


Indicadores	
CP	= 1,51573
CPs=	1,438347
CPI=	1,593119
CPK	= 1,43835

Situação de alerta. O processo está bom agora, mas não está estável. Deve-se fazer gráficos para estabelecer o controle.

Sob Controle / Não Capaz:

Carta para Indivíduos (%O2)



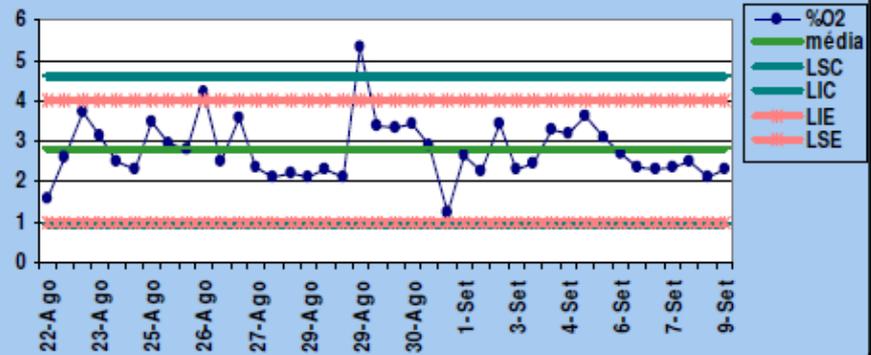
Indicadores	
CP =	0,93694
CPs=	0,697462
CPi=	1,176421
CPK =	0,69746

Mudanças significativas são necessárias no processo.

4

Fora de Controle / Não Capaz:

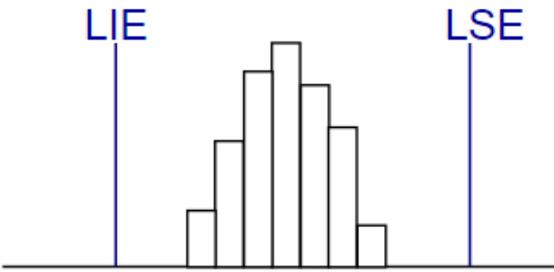
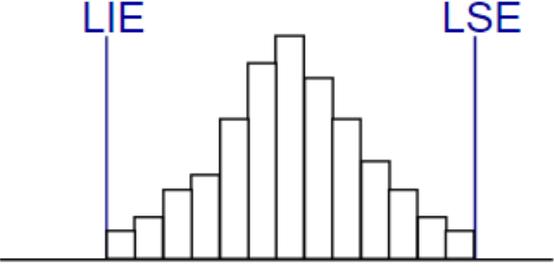
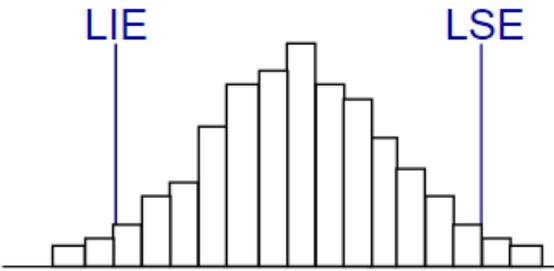
Carta para Indivíduos (%O2)



Indicadores	
CP =	0,81888
CPs=	0,675005
CPi=	0,962747
CPK =	0,67501

Situação péssima. Mudanças drásticas são necessárias, além da eliminação das causas especiais.

Análise

Classificação do processo	C_p	Comparação com a especificação
Capaz ou adequado	$C_p > 1,33$	 A histogram representing a normal distribution. Two vertical blue lines are drawn on the horizontal axis, labeled 'LIE' on the left and 'LSE' on the right. The distribution is very narrow and centered between these two lines, indicating a process with high capability.
Aceitável	$1 \leq C_p \leq 1,33$	 A histogram representing a normal distribution. Two vertical blue lines are drawn on the horizontal axis, labeled 'LIE' on the left and 'LSE' on the right. The distribution is wider than in the first case, but its entire width still falls within the space between the LIE and LSE lines.
Incapaz ou inaceitável	$C_p < 1$	 A histogram representing a normal distribution. Two vertical blue lines are drawn on the horizontal axis, labeled 'LIE' on the left and 'LSE' on the right. The distribution is wider than in the previous cases, and its tails extend beyond both the LIE and LSE lines, indicating a process that is not capable.

Classificação de processos

- **Processo Vermelho (incapaz ou inadequado):**
 - **C_p ou $C_{pk} \leq 1$**
- **Processo amarelo (aceitável):**
 - **$1 \leq C_p$ ou $C_{pk} \leq 1,33$**
- **Processo Verde (capaz ou adequado):**
 - **C_p ou $C_{pk} \geq 1,33$**

Exemplo:

As especificações para uma peça particular são 10" +/- 0,015". O processo associado produz peças com média 10" e desvio padrão 0,002". O índice de capacidade do processo é:

- a) 2,5
- b) 1,0
- c) 7,5
- d) 10

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Exemplo:

As especificações para uma peça particular são 10" +/- 0,015". O processo associado produz peças com média 10" e desvio padrão 0,002". O índice de capacidade do processo é:

- a) 2,5
- b) 1,0
- c) 7,5
- d) 10

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Resposta:

Quando o processo está centrado entre os limites de especificação (10"), o Índice de Capacidade do Processo é calculado através da seguinte fórmula:

$$ICP = (LSE - LIE) / 6\sigma \quad \text{ou} \quad ICP = (LSE - LIE) / (LSC - LIC)$$

$$ICP = (10,015 - 9,985) / 6 * 0,002 = 0,03 / 0,012 = 2,5$$

Um fabricante de parafusos de aço inox estruturou o controle estatístico de processo na empresa e controla o diâmetro dos parafusos pelo gráfico da média que apresenta $LSC = 10,25\text{mm}$, $LM = 10,00\text{mm}$ e $LIC = 9,75\text{mm}$. Um cliente deseja parafusos daquele material e está disposto a aceitar parafusos com diâmetro $9,00 \pm 1,50$. Determinar o índice de capacidade do processo.

$$C_p = \frac{LSE \text{ (limite superior da especificação)} - LIE \text{ (limite inferior da especificação)}}{LSC - LIC \text{ (ou 6 desvios padrões)}}$$

Um fabricante de parafusos de aço inox estruturou o controle estatístico de processo na empresa e controla o diâmetro dos parafusos pelo gráfico da média que apresenta $LSC = 10,25\text{mm}$, $LM = 10,00\text{mm}$ e $LIC = 9,75\text{mm}$. Um cliente deseja parafusos daquele material e está disposto a aceitar parafusos com diâmetro $9,00 \pm 1,50$. Determinar o índice de capacidade do processo.

Solução:

Pela especificação do cliente verificamos que:

$$LIE = 9,00 + 1,50 = 10,50\text{mm}$$

$$LSE = 9,00 - 1,50 = 7,50\text{mm}$$

$$\hat{C}_p = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}} \quad C_p = \frac{LSE \text{ (limite superior da especificação)} - LIE \text{ (limite inferior da especificação)}}{LSC - LIC \text{ (ou 6 desvios padrões)}}$$

Assim temos:

$$C_p = (10,50 - 7,50) / (10,25 - 9,75) = 6 \text{ logo, o processo é capaz}$$

Exemplo: Coletamos resultados de 20 apertos de uma ferramenta na linha de produção. O valor alvo é 15Nm e tolerâncias de +/- 8%. O processo é capaz?

□ Tolerâncias:

□ LIE (BAI) = 13,8 Nm

□ LSE (AL) = 16,2 Nm

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

□ Medidas:

15.4	15.5
15.6	15.3
15.4	15.4
15.1	15.3
15.1	15.3
15.5	15.1
15.0	15.2
15.3	15.4
15.2	15.1
15.1	15.2

$$C_p = \frac{\text{Intervalo de tolerância}}{6\sigma} = \frac{\text{ALTO} - \text{BAIXO}}{6\sigma}$$

$$C_{pk} = \min [(\text{AL} - \text{MED}) / 3\sigma, (\text{MED} - \text{BAI}) / 3\sigma]$$

Exemplo: Coletamos resultados de 20 apertos de uma ferramenta na linha de produção. O valor alvo é 15Nm e tolerâncias de +/- 8%. O processo é capaz?

	Aperto		
	Nm	(x-xmédio)	(x-xmédio)^2
1	15,400	0,125	0,016
2	15,600	0,325	0,106
3	15,400	0,125	0,016
4	15,100	-0,175	0,031
5	15,100	-0,175	0,031
6	15,500	0,225	0,051
7	15,000	-0,275	0,076
8	15,300	0,025	0,001
9	15,200	-0,075	0,006
10	15,100	-0,175	0,031
11	15,500	0,225	0,051
12	15,300	0,025	0,001
13	15,400	0,125	0,016
14	15,300	0,025	0,001
15	15,300	0,025	0,001
16	15,100	-0,175	0,031
17	15,200	-0,075	0,006
18	15,400	0,125	0,016
19	15,100	-0,175	0,031
20	15,200	-0,075	0,006
Média	15,275		
Soma			0,5175

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad s = \sqrt{\frac{0,5175}{(20-1)}} = 0,165$$

$$s = \sqrt{\frac{0,5175}{(20-1)}} = 0,165$$

$$Cp = (AL - BAI) / 6\sigma = (16.2 - 13.8) / (6 * 0.165) = 2.42$$

$$Cpk = \min [(AL - MED) / 3\sigma, (MED - BAI) / 3\sigma]$$

$$Cpk = \min [(AL - MED) / 3\sigma, (MED - BAI) / 3\sigma] = \min [(16.2 - 15.275) / 3 * 0.165, (15.275 - 13.8) / 3 * 0.165] = \min [1.87, 2.98] = 1.87$$

Os valores Cp e Cpk são superiores a 1,33 e o processo é capaz e não precisa necessariamente ser ajustado, embora a média esteja ligeiramente fora do alvo.

<i>n</i>	<i>D3</i>	<i>D4</i>	<i>D</i>	<i>c4</i>	<i>d2</i>
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

Atividade Avaliativa

Um determinado tipo de rosca produzido por uma indústria de autopeças é submetido a uma operação de usinagem em um torno CNC. O diâmetro usinado da rosca é uma das principais características da qualidade de interesse para a empresa. Para avaliar a estabilidade do processo a empresa pretende utilizar gráficos Xbarra-R. A tabela apresenta 25 amostras de tamanho 5 do diâmetro das peças. As especificações estabelecidas para o diâmetro da rosca são $7,10 \pm 0,06$ mm. Calcule os limites, trace os gráficos, avalie a estabilidade e conclua acerca da capacidade do processo.

Amostra	x1	x2	x3	x4	x5
1	7,100	7,095	7,100	7,105	7,105
2	7,100	7,100	7,095	7,105	7,100
3	7,120	7,105	7,100	7,120	7,100
4	7,115	7,120	7,115	7,115	7,120
5	7,090	7,095	7,110	7,120	7,105
6	7,110	7,100	7,105	7,100	7,100
7	7,105	7,095	7,100	7,105	7,085
8	7,100	7,115	7,095	7,105	7,125
9	7,065	7,090	7,110	7,105	7,105
10	7,125	7,130	7,095	7,100	7,115
11	7,105	7,100	7,115	7,095	7,075
12	7,100	7,110	7,085	7,090	7,080
13	7,115	7,090	7,085	7,090	7,110
14	7,095	7,090	7,095	7,100	7,080
15	7,110	7,070	7,095	7,100	7,110
16	7,070	7,075	7,080	7,100	7,090
17	7,090	7,130	7,100	7,110	7,100
18	7,100	7,100	7,090	7,095	7,080
19	7,080	7,070	7,090	7,110	7,100
20	7,100	7,110	7,070	7,110	7,110
21	7,095	7,105	7,095	7,095	7,100
22	7,105	7,070	7,110	7,110	7,110
23	7,100	7,100	7,105	7,110	7,105
24	7,100	7,105	7,105	7,110	7,080
25	7,120	7,115	7,110	7,130	7,115