

# Melhoria e Controle da Qualidade

Depto. de Engenharia de Produção  
Escola Politécnica da USP  
*Prof. Dr. Dario Ikuo Miyake*

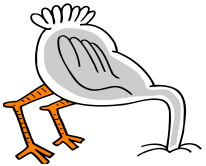
Nigel Slack  
Stuart Chambers  
Robert Johnston

Parte do Capítulo 18 Melhoria da Produção, “Administração da Produção – edição compacta” São Paulo: Atlas, 1999.

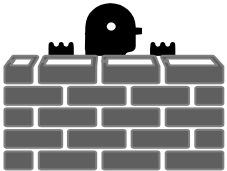
**2023**

# Melhoria de processos implica em esforços de resolução de problemas

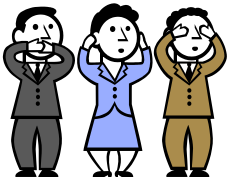
Mas o processo de identificação e definição de **problemas** em si pode ser problemática devido a atitudes muito comuns de serem encontradas nas organizações...



Síndrome do avestruz: nenhum **problema** é grave o suficiente que me impeça de fugir dele ...



Se há um monte de **problemas** ao nosso redor, vamos nos blindar contra os mesmos ...



Como os **problemas** só nos trazem aborrecimentos e constrangimentos, é mais confortável ignorá-los ...



Para que processos possam ser melhorados, precisamos antes de mais nada, reconhecer a existência de problemas e encará-los como oportunidades para melhoria

# Metodologia de Análise e Solução de Problemas (MASP)

1. Definir o problema
2. Analisar o problema
3. Busca de possíveis alternativas de solução
4. Selecionar a melhor alternativa de solução
5. Implantar a solução

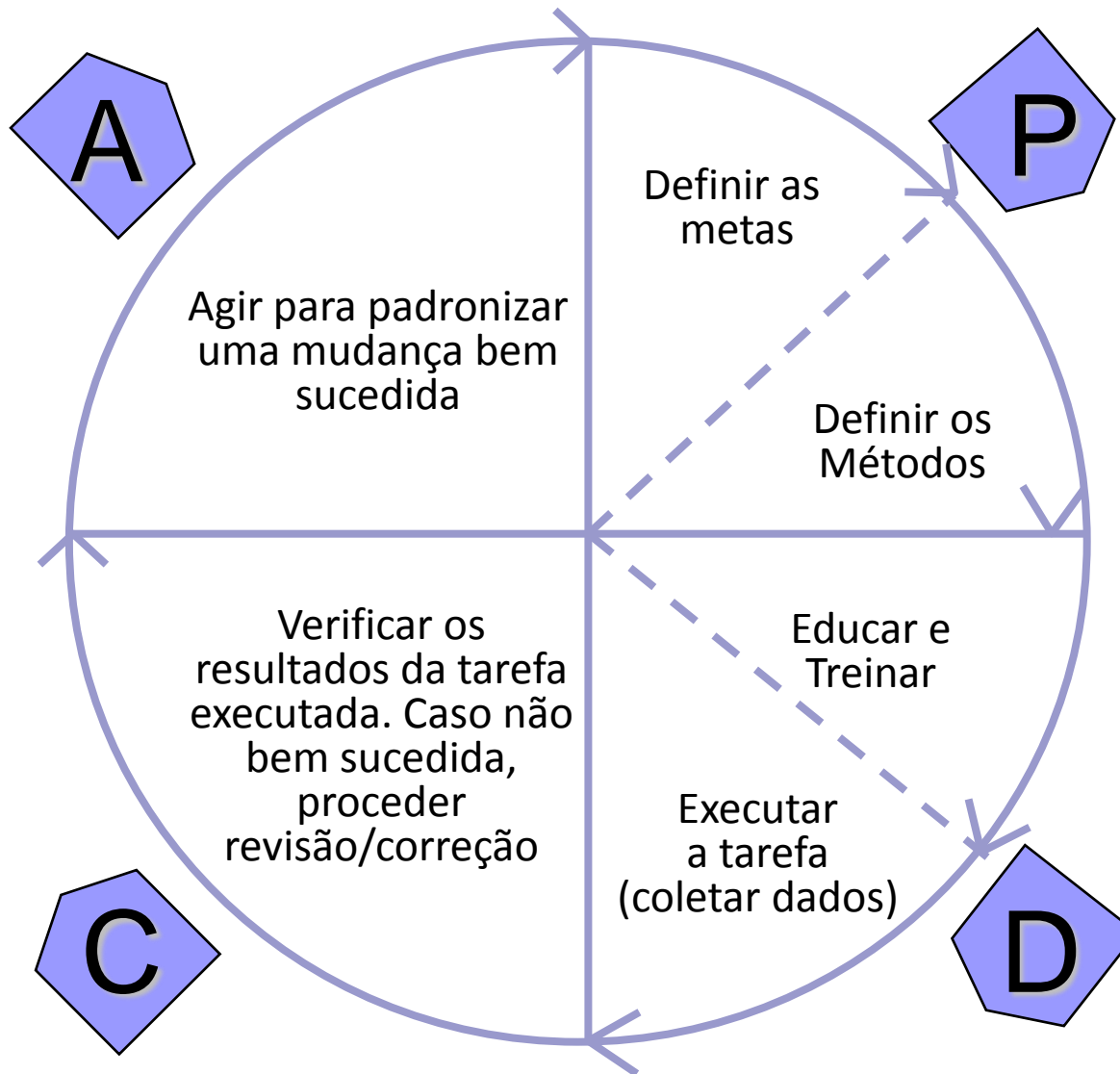


Ineficaz 



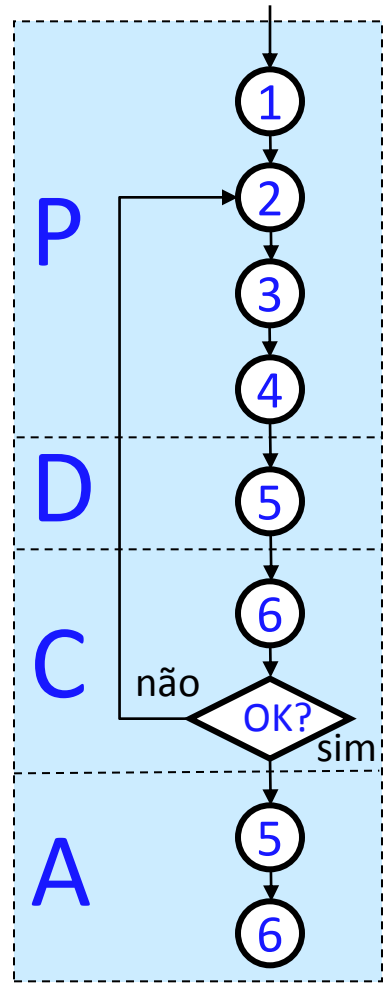
Eficaz 

# Ciclo PDCA para melhoria



# Ciclo PDCA

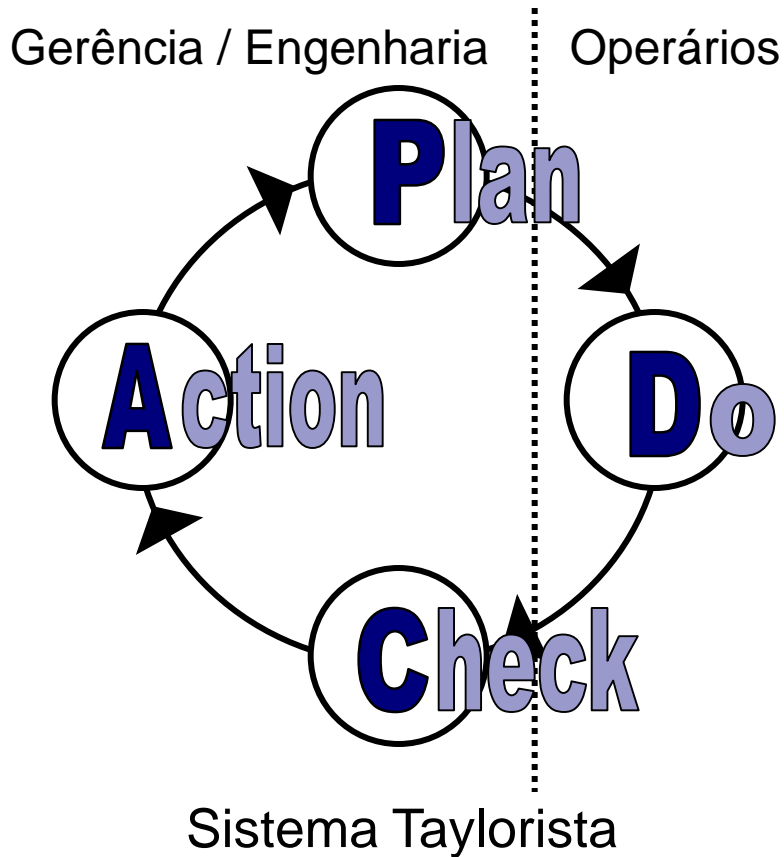
O processo de resolução de problemas não pode ser baseado em “achismos”. Tem de ser baseado em dados e fatos.



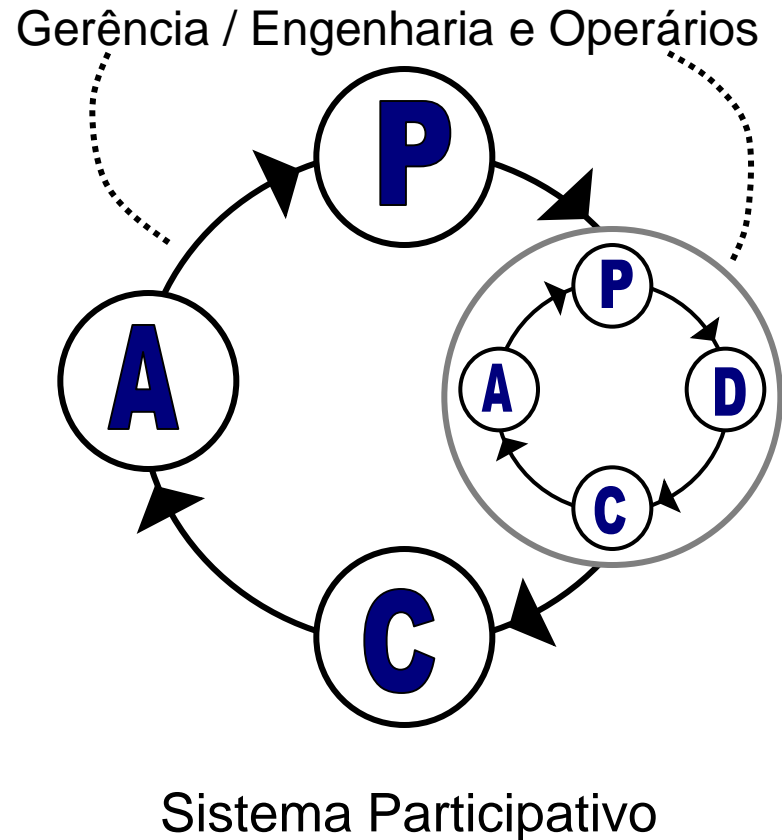
- Plan**  
planejar
  - Identificação do problema
  - Observação do problema para reconhecimento de suas principais características
  - Análise do problema para levantamento de suas causas
  - Geração de alternativas de solução para definição de “Plano de ação”
- Do**  
executar
  - Execução de contramedidas conforme plano de ação
- Check**  
verificar
  - Verificação dos resultados das contramedidas realizadas
- Action**  
atuar
  - Padronização das ações tomadas ou correção
  - Conclusão (inclusive revisão, documentação e planejamento para futuras extensões)

# Ciclo PDCA

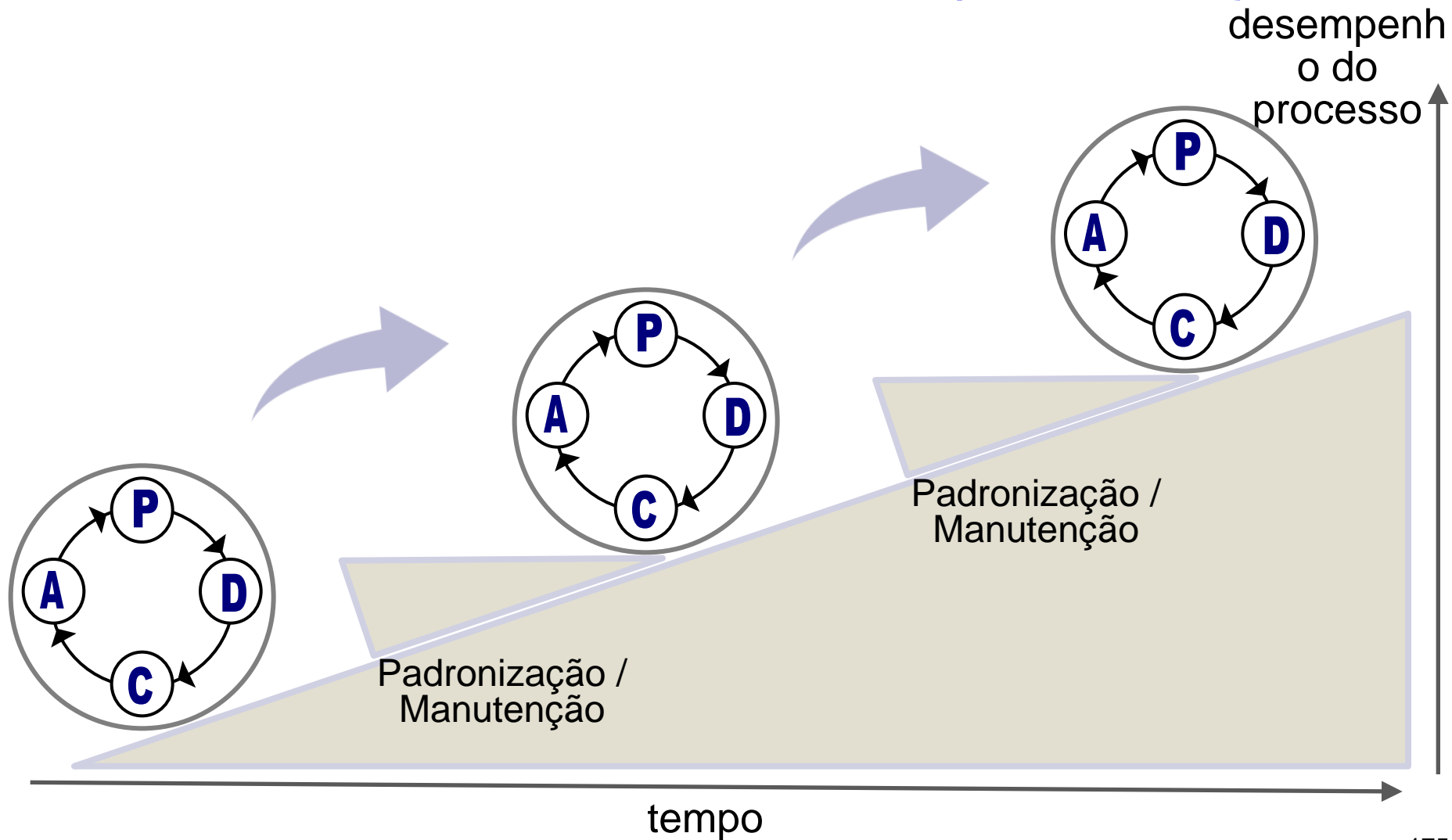
## Abordagem tradicional



## Abordagem moderna



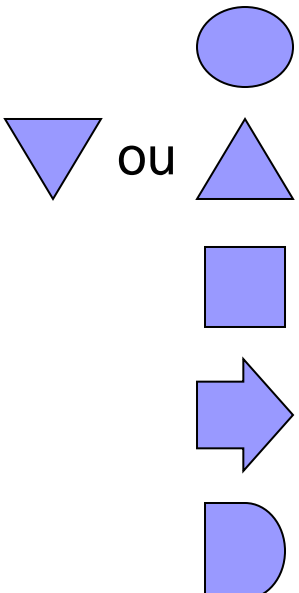
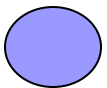

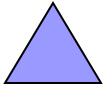

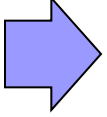

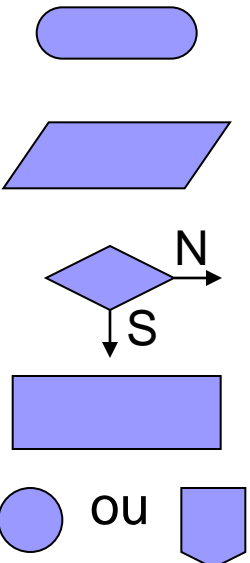


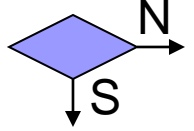



# Ciclo PDCA e a abordagem de melhoria contínua (*kaizen*)



# Fluxograma

Também conhecidos como “ Mapa do Processo”, “Gráfico do fluxo do processo”.

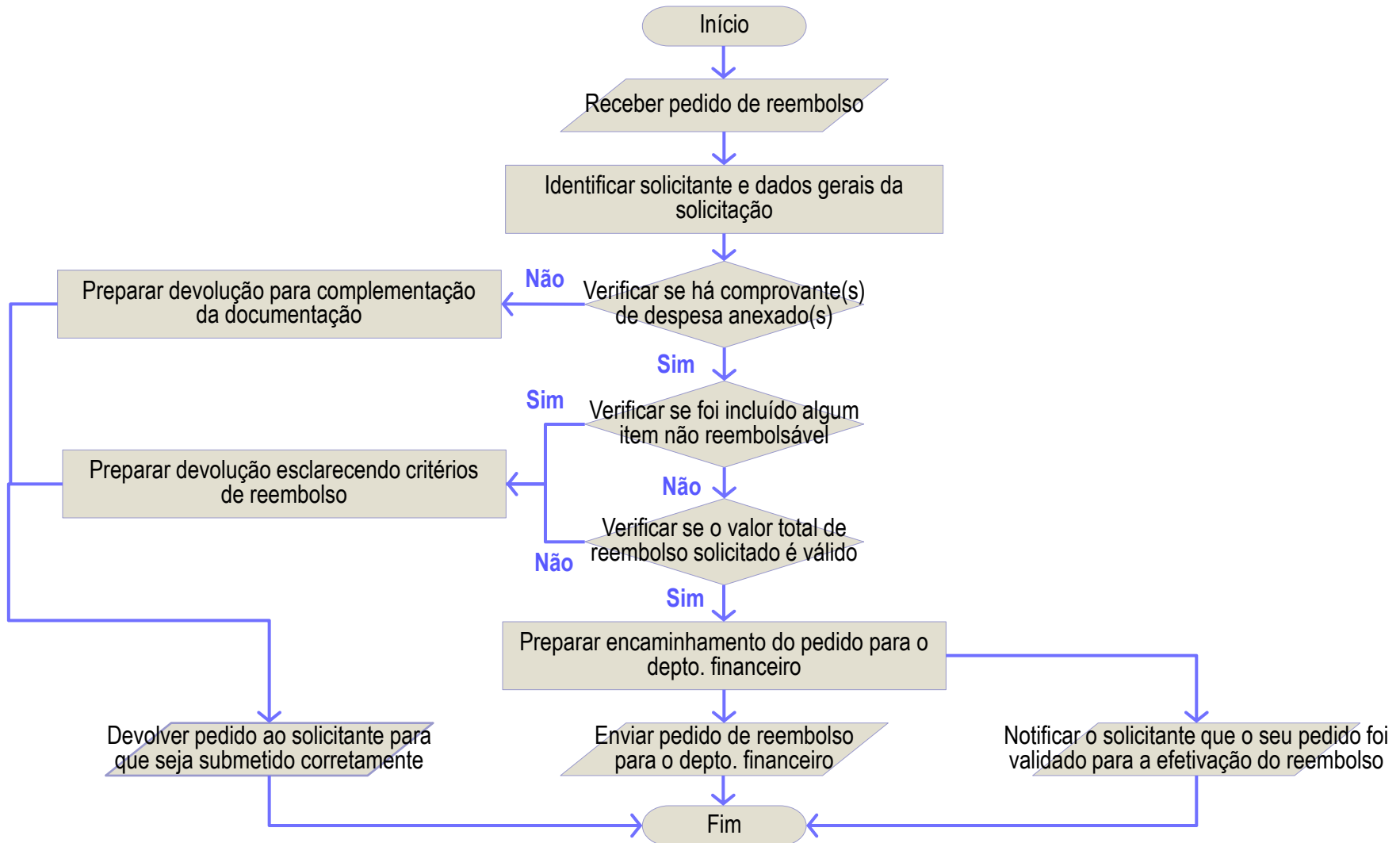
## Convenções gráficas

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxo de material</li> <li>• Fluxo de produção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fluxo de procedimento de trabalho</li> <li>• Fluxo de serviço</li> </ul>
 <p>  operação ou etapa do processo   ou  armazenagem   inspeção   transporte   demora         </p>	 <p>  início ou fim   entrada/saída de dados   decisão   etapa do processo   ou  conector         </p>



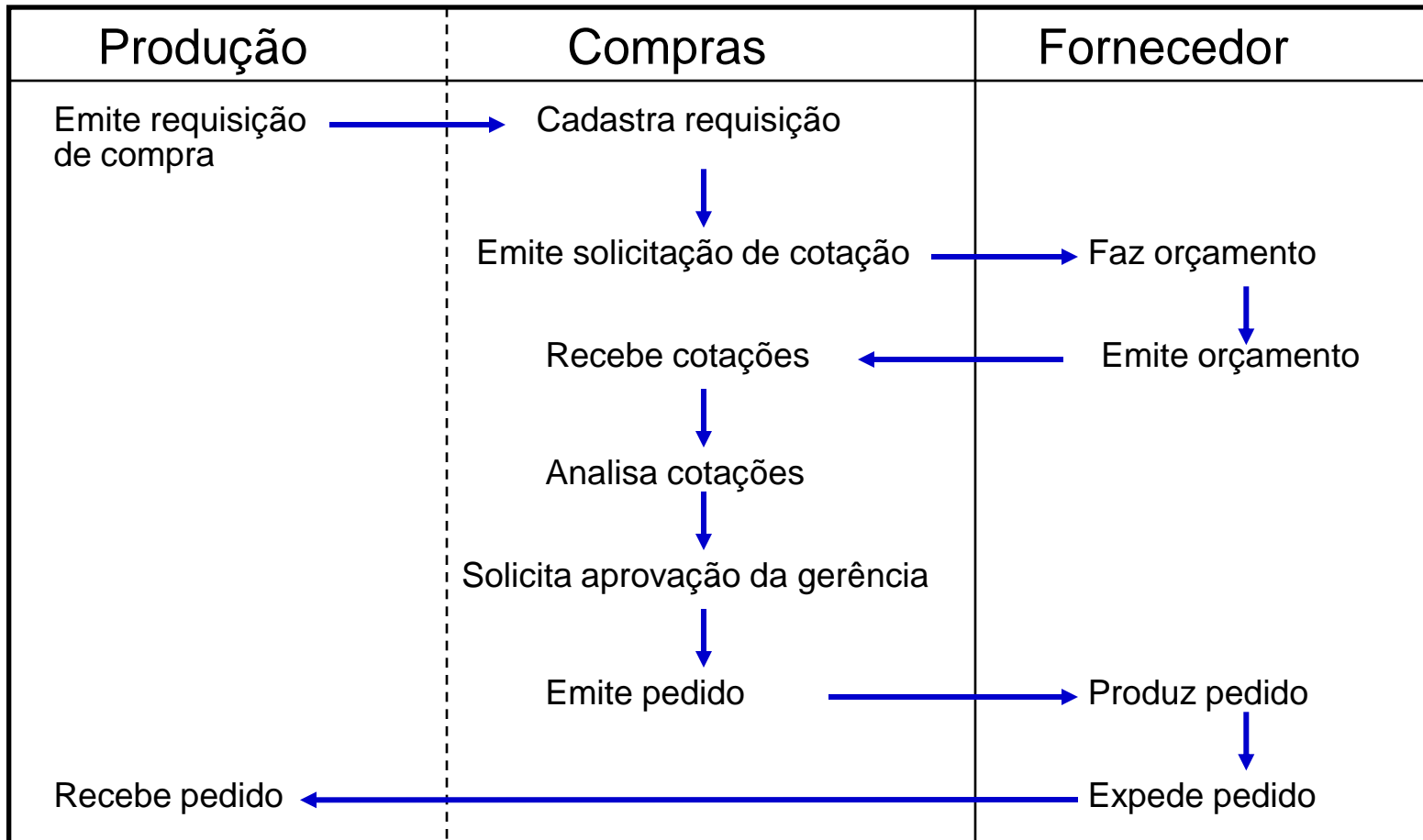
# Exemplo de Fluxograma (1):

## Verificação inicial de pedido de reembolso de despesa



# Exemplo de Fluxograma (2):

Descrição dos passos de um processo de requisição de compra em um fluxograma funcional ou fluxograma com “raias”



# As “Sete Ferramentas Básicas” para controle da qualidade

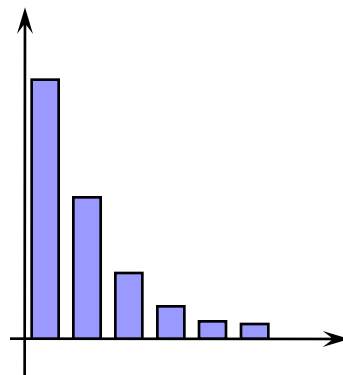
1. Lista de verificação (*check-list*)
2. Gráfico de Pareto
3. Histograma
4. Estratificação
5. Diagrama de Causa-e-Efeito (Ishikawa)
6. Gráficos (ex. Diagrama de dispersão)
7. Gráficos de controle

# As “Sete Ferramentas Básicas” para controle da qualidade

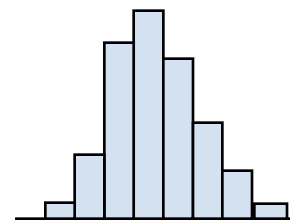
Lista de Verificação  
(coleta de dados)

<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gráfico de Pareto



Histograma



Estratificação

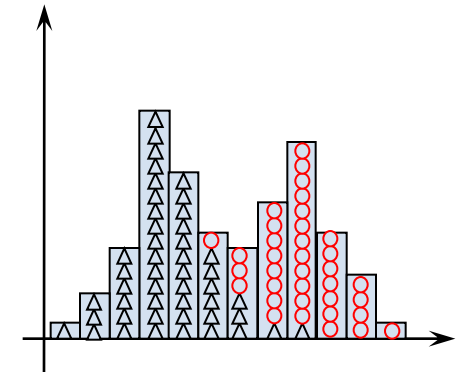


Diagrama de Ishikawa

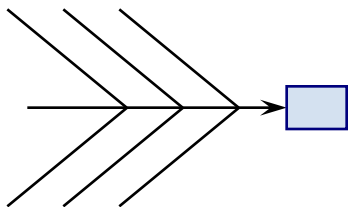
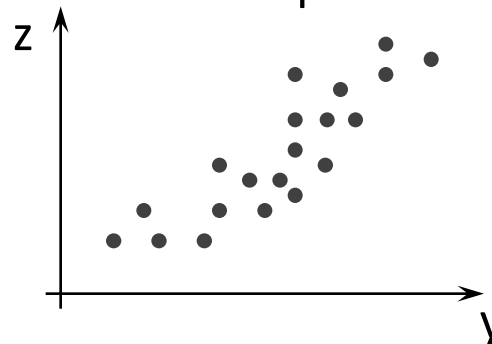
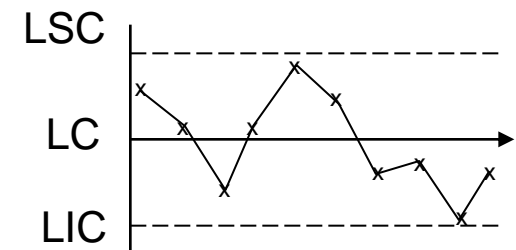


Diagrama de Relacionamento  
ou Dispersão



Gráficos de controle para CEP



# 1. Lista de Verificação\*

## Para registro / coleta de dados

Levantamento das ligações telefônicas recebidas pelo serviço de atendimento ao cliente de uma empresa

Classificação	Semana: <u>23/10 ~ 27/10</u>					Ano: <u>2020</u>
	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	Total
Consulta por informação	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	24
Reclamação	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	23
Solicitação de serviço pós-venda	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	18
Engano	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	11
Outros: elogio, trote...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	16
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>92</b>

\* Também conhecida como Folha de Verificação

# 1. Lista de Verificação

## Check-list

Roteiro para inspeção semanal das condições de um veículo de frota

Placa: <i>CWD 2304</i>	Mês: <i>Agosto</i>			Ano: <i>2020</i>	
Item de verificação	<i>29/7~4/8</i>	<i>5/8~11/8</i>	<i>12/8~18/8</i>	<i>19/8~25/8</i>	<i>26/8~1/9</i>
1. Documentação e impostos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2. Direção, suspensão, pneus, freio	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <i>Sem estepe</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3. Limpeza interna e externa	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> <i>Restos de comida</i>	<input checked="" type="checkbox"/>
4. Água, óleo e combustível	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5. Motor e sistemas elétricos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6. Quilometragem	<i>31.954</i>	<i>32.502</i>	<i>33.105</i>	<i>33.620</i>	<i>34.158</i>
Visto	<i>PVC</i>	<i>PVC</i>	<i>FCM</i>	<i>FCM</i>	<i>FCM</i>

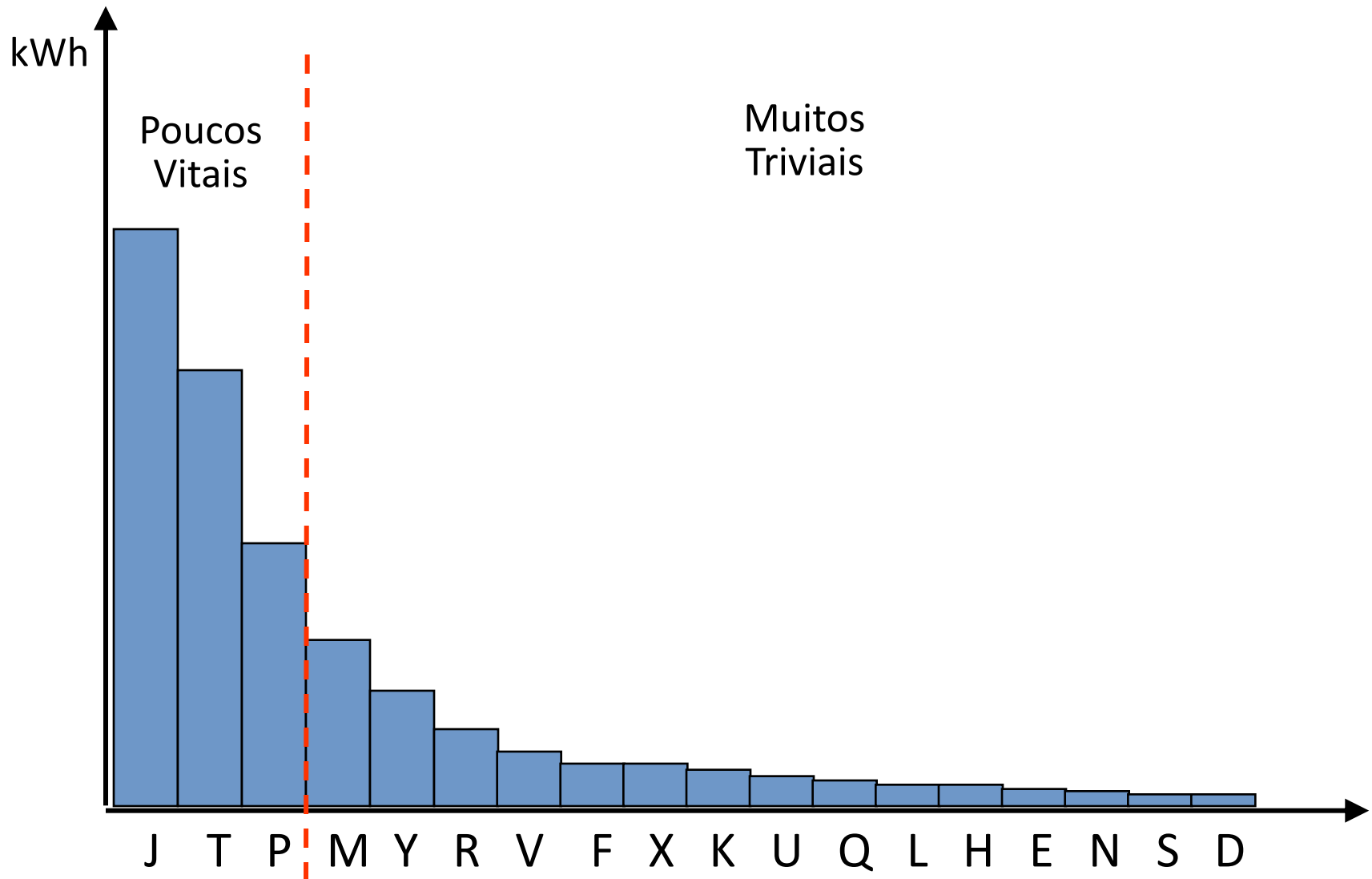
## 2. Gráfico de Pareto

- Princípio de Pareto:
  - Quando há uma grande quantidade de elementos relacionados a uma dada situação, dentre eles

**Poucos são vitais e muitos triviais**

- Passos para a construção de um Gráfico de Pareto:
  - Escolher a variável adequada
  - Levantar os dados necessários
  - Efetuar os cálculos
  - Ordenar os itens do maior para o menor
  - Fazer o diagrama
  - Escolher os itens a serem analisados → **Priorização**

## 2. Gráfico de Pareto





# Exemplo: Análise de Pareto

cód.	descrição	HH	%
126	Encontrado em ordem	5853	7,7%
121	Defeito interno secundário/primário	5122	6,8%
104	Verificações (localizar ET etc)	2536	3,4%
127	Endereço não localizado	2482	3,3%
135	Anomalia em Rede de I.P. Prefeitura	2357	3,1%
106	Religação Executada	1554	2,1%
129	Prédio fechado	1393	1,8%
124	Anomalias em Rede de IP	846	1,1%
132	Anomalia em Rede de Telefonia	840	1,1%
125	Turmas trabalhando no local	570	0,8%
122	Anomalia de voltagem	537	0,7%
128	Cortado por falta de pagamento	360	0,5%
108	Religação Não Executada	303	0,4%
131	Suspeita de fraude	280	0,4%
134	Anomalia em Rede de TV a Cabo	231	0,3%
113	Poste em Perigo de Cair	218	0,3%
123	Anomalia outra Concessionária	90	0,1%
109	Acompanhamento de carreta	55	0,1%
112	Transformador Vazando Óleo	54	0,1%
133	Anomalia em Rede de Semáforos	23	0,0%
136	Anomalia de Tensão em Subestação	21	0,0%
171	Ligações clandestinas	1	0,0%
103	Liga/desliga ponto para exec. Serv. Utili. Pública	0	0,0%
105	Corte de consumidor	0	0,0%
107	Prédio em demolição	0	0,0%
110	Avisar interrupção programada	0	0,0%
130	Terreno intransitavel	0	0,0%
total da classe 100:		<b>25726</b>	34,0%
total de atendimentos da Concessionária:		<b>75633</b>	

## Priorização:

Exemplo de uma distribuidora de energia elétrica

Chamadas de Emergência CLASSE 100: Ocorrências no 1º trimestre de 2005 (chamados em que a equipe da operadora se deslocou, mas não conseguiu prestar serviço)

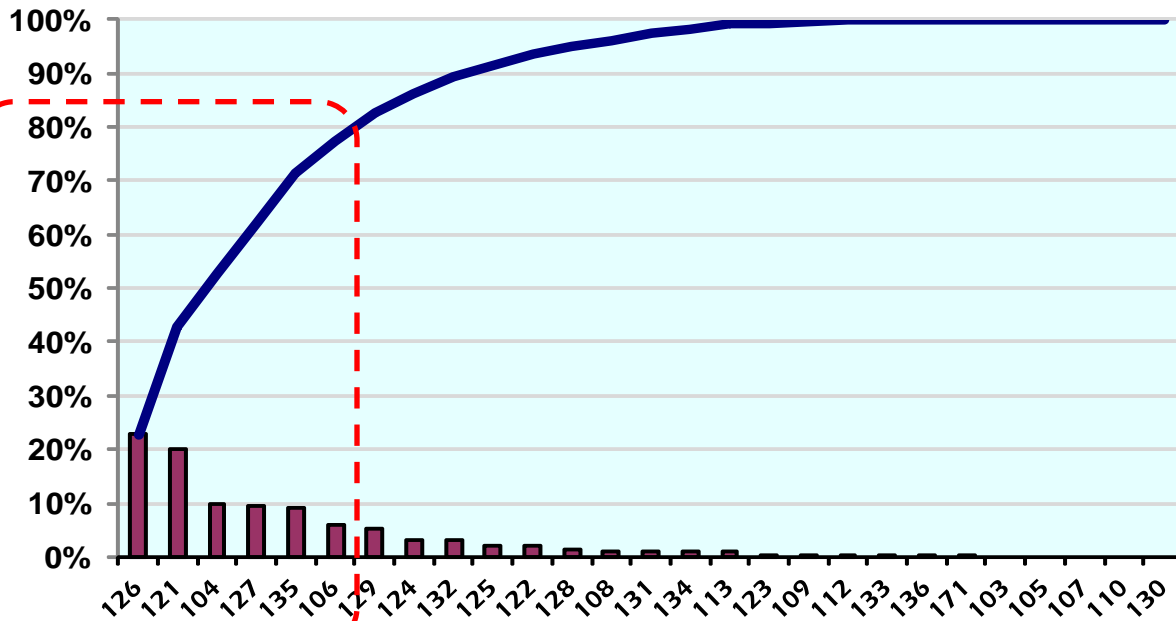
Chamadas classe 100 representam 34% do total de HH consumidas

# Exemplo: Análise de Pareto

## Priorização:

Exemplo de  
uma  
distribuidora de  
energia elétrica

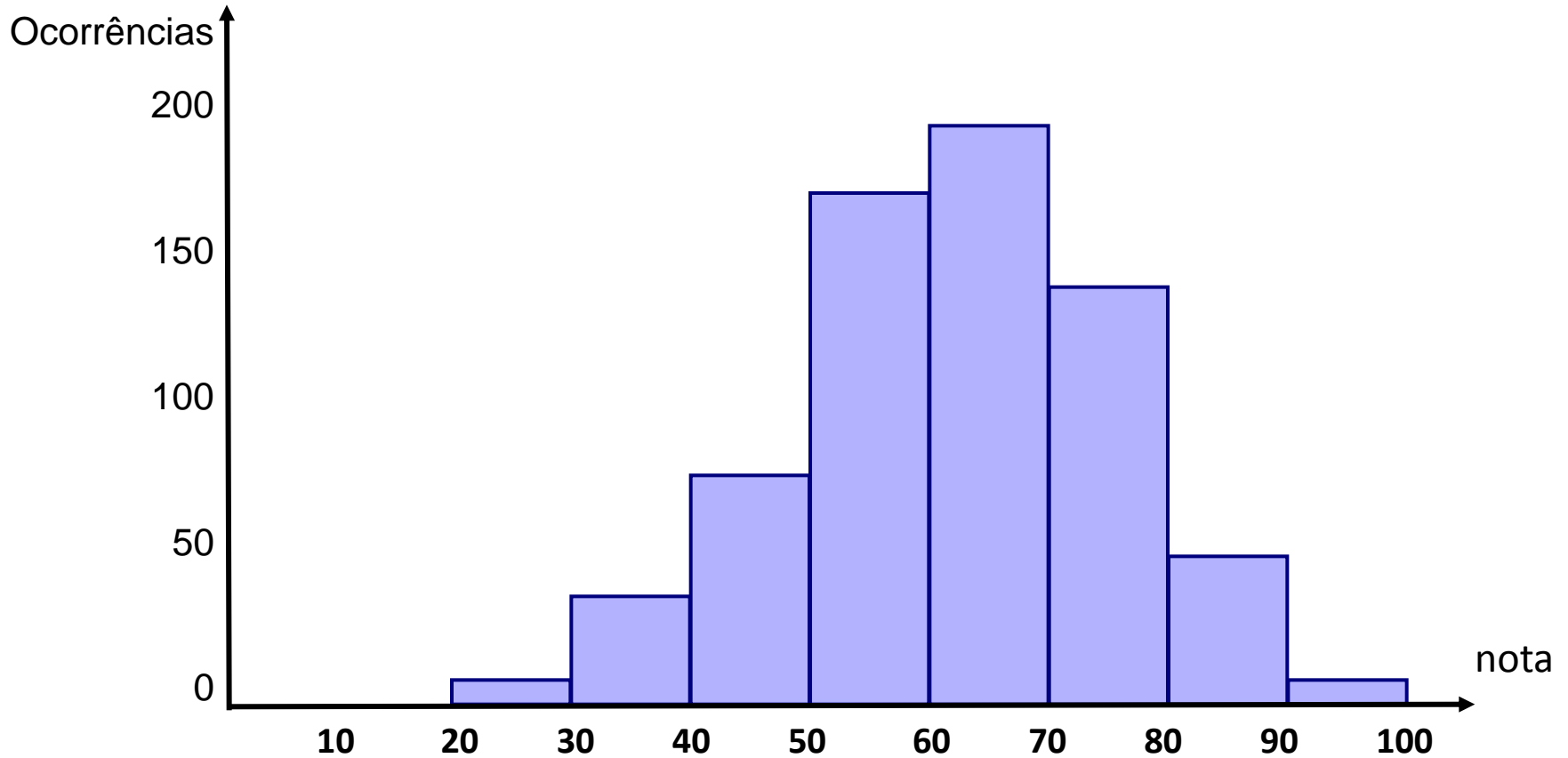
Chamadas de Emergência  
CLASSE 100: Ocorrências no  
1º trimestre de 2005  
(chamados em que a equipe  
da operadora se deslocou,  
mas não conseguiu prestar  
serviço)



Os 6 primeiros são responsáveis por cerca de 80% das HH consumidas

# 3. Histograma

Exemplo: Nota de Avaliação de Fornecedores

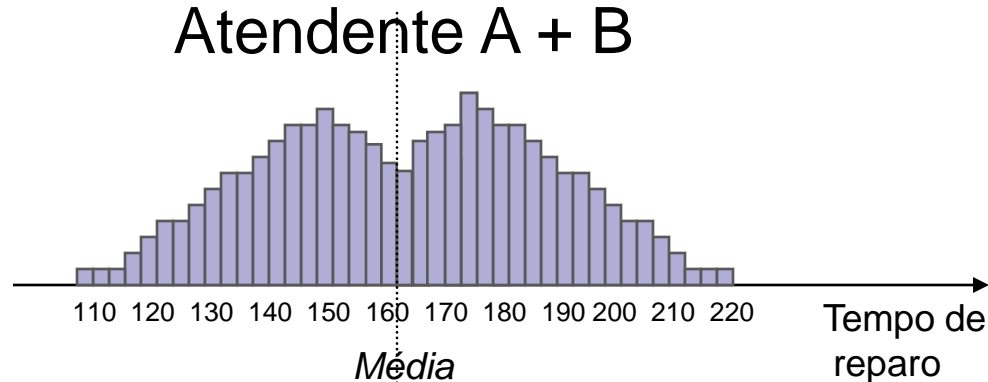


Mostra a distribuição dos resultados e sua **variação**

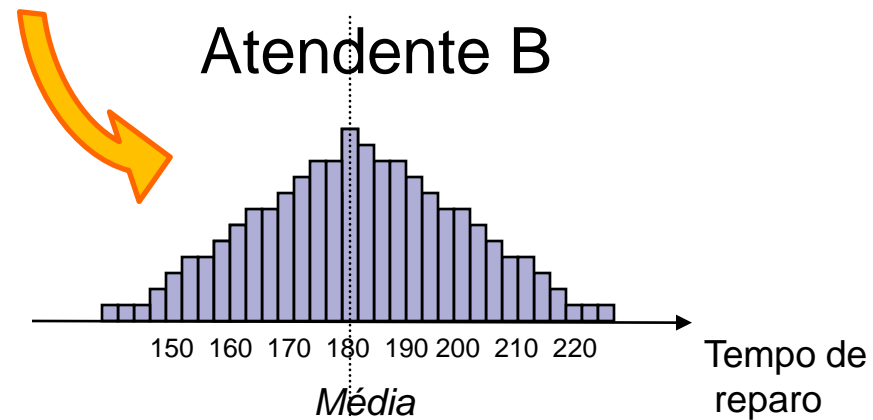
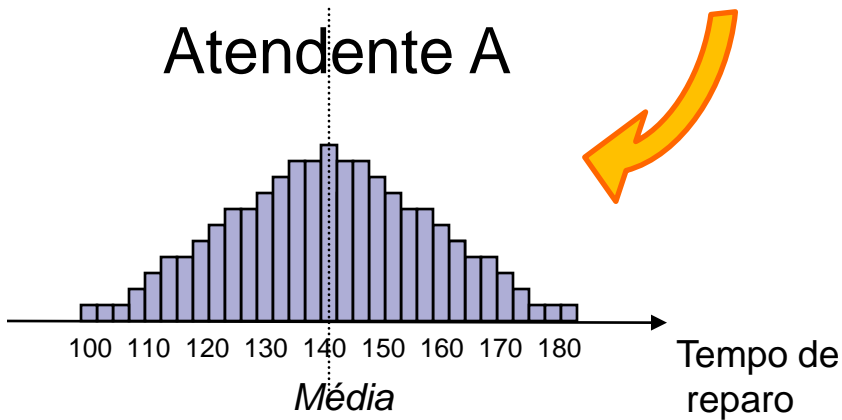
# 4. Estratificação



Distribuição com mais de uma moda não é “normal”



## Estratificação



Por meio da estratificação dos dados de uma amostra é possível analisar se ela contém dados coletados de populações diferentes que estão misturados

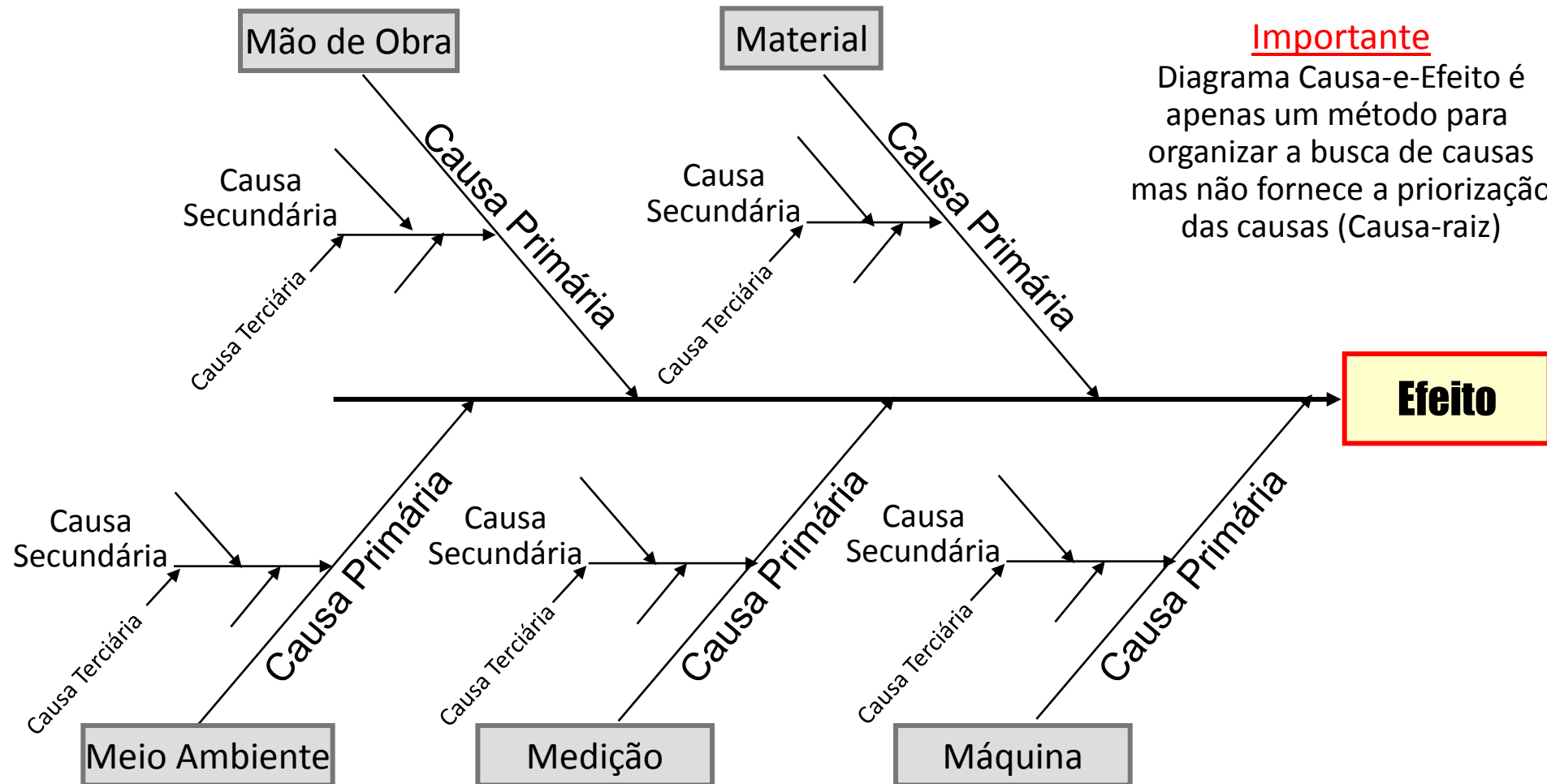
# 5. Diagrama de Causa-e-Efeito

- Conhecido também como Gráfico Espinha-de-Peixe (*Fishbone*) ou Diagrama de Ishikawa
- Representação das relações entre um “efeito” (problema) e suas potenciais “causas”
- Utilizado para relacionar o resultado de um processo (“efeito”) e os fatores que influem sobre o mesmo (“causas”)

# 5. Diagrama de Causa-e-Efeito

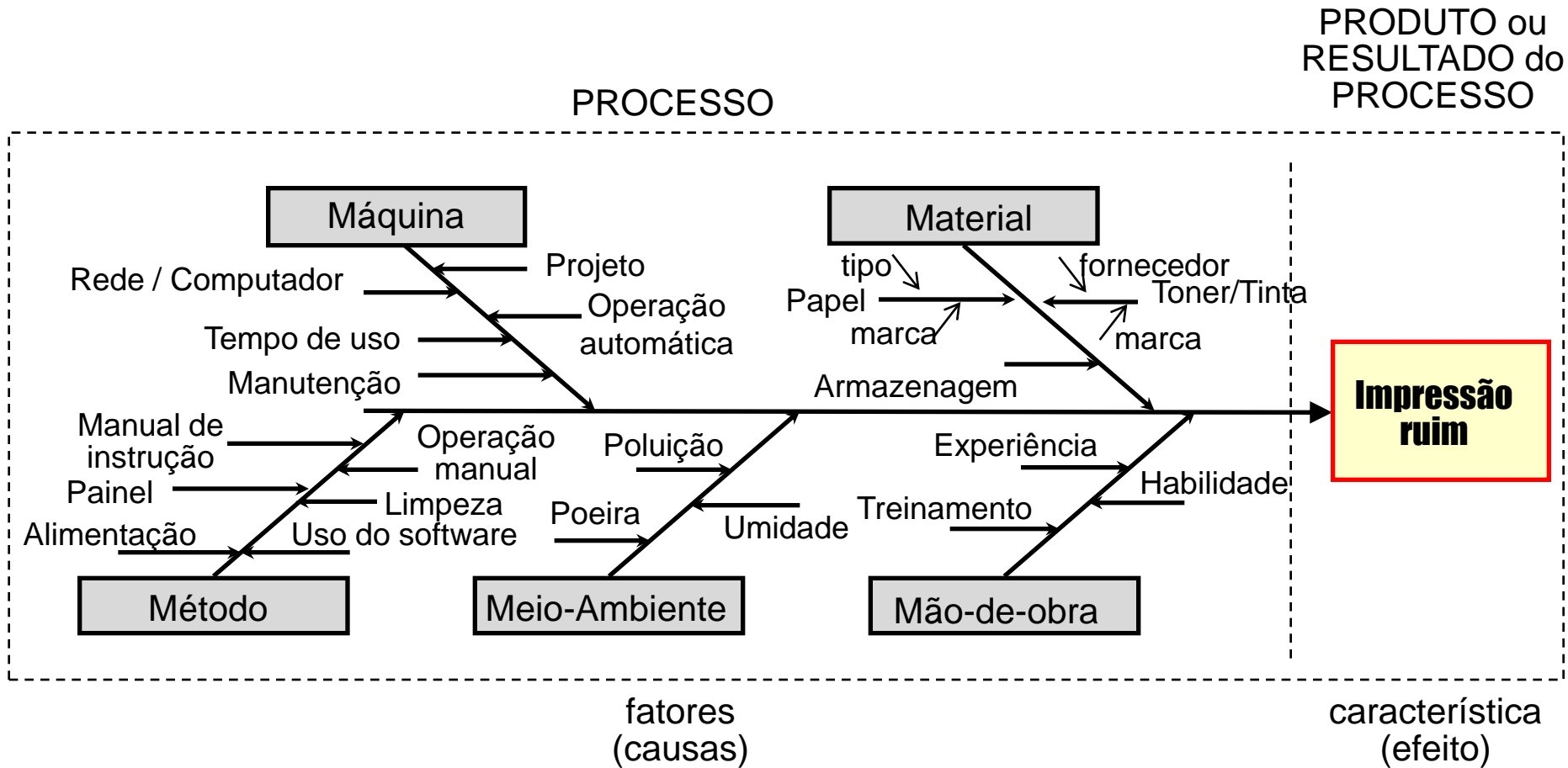
Importante

Diagrama Causa-e-Efeito é apenas um método para organizar a busca de causas mas não fornece a priorização das causas (Causa-raiz)



# 5. Diagrama de Causa-e-Efeito

Exemplo para defeito de impressão:



# Análise dos 5 Whys: Pergunte “Por que” 5 vezes buscando identificar a causa raiz do problema

	1º ROUND	2º ROUND	3º ROUND	4º ROUND	5º ROUND	AÇÕES
<b>A</b>	Por que a demora na elevação da pressão?	Por que a capacidade da bomba fica reduzida ?	Por que viscosidade do óleo fica baixa ?	Por que a temperatura do óleo se eleva ?	Por que a refrigeração do trocador é insuficiente ?	
	Porque a capacidade da bomba está reduzida <input type="radio"/> ●	Porque a viscosidade do óleo está baixa <input type="radio"/> ●	Porque a temperatura do óleo hidráulico aumenta <input type="radio"/> ●	Porque a refrigeração do trocador é insuficiente <input type="radio"/> ●	Porque a refrigeração do trocador é insuficiente <input type="radio"/> ●	
<b>B</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que o filtro de sucção está entupido <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que a capacidade da torre de refrigeração é insuficiente <input type="radio"/> ●	
	Porque <input type="radio"/> ●	Porque ar está sendo inspirado com pouca quantidade de óleo <input type="radio"/> ●	Porque ? <input type="radio"/> ●	Porque ? <input type="radio"/> ●	Porque o trocador de calor está com escamação <input type="radio"/> ●	
<b>C</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Porque <input type="radio"/> ●	Porque a engrenagem da bomba está com desgaste <input type="radio"/> ●	Porque ? <input type="radio"/> ●	Porque ? <input type="radio"/> ●	Porque o revestimento térmico do tubo de refrigeração não está bom <input type="radio"/> ●	
<b>D</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Introduzir componente para melhorar a qualidade da água
	Porque <input type="radio"/> ●	Por que o cilindro hidráulico está com vazamento? <input type="radio"/> ●	Por que o “O” ring está quebrado? <input type="radio"/> ●	Por que há muita impureza no óleo? <input type="radio"/> ●	Por que não é trocado há muito tempo? <input type="radio"/> ●	
<b>E</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que o “O” ring está quebrado <input type="radio"/> ●	Por que há muita impureza no óleo <input type="radio"/> ●	Porque não é trocado a muito tempo <input type="radio"/> ●	Porque as impurezas não foram eliminadas <input type="radio"/> ●	Trocar o óleo e instalar dispositivo para remoção de impurezas
	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
<b>F</b>	Por que a válvula de descarga está com vazamento <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
<b>G</b>	Por que a válvula solenóide está entupida <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
<b>H</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	

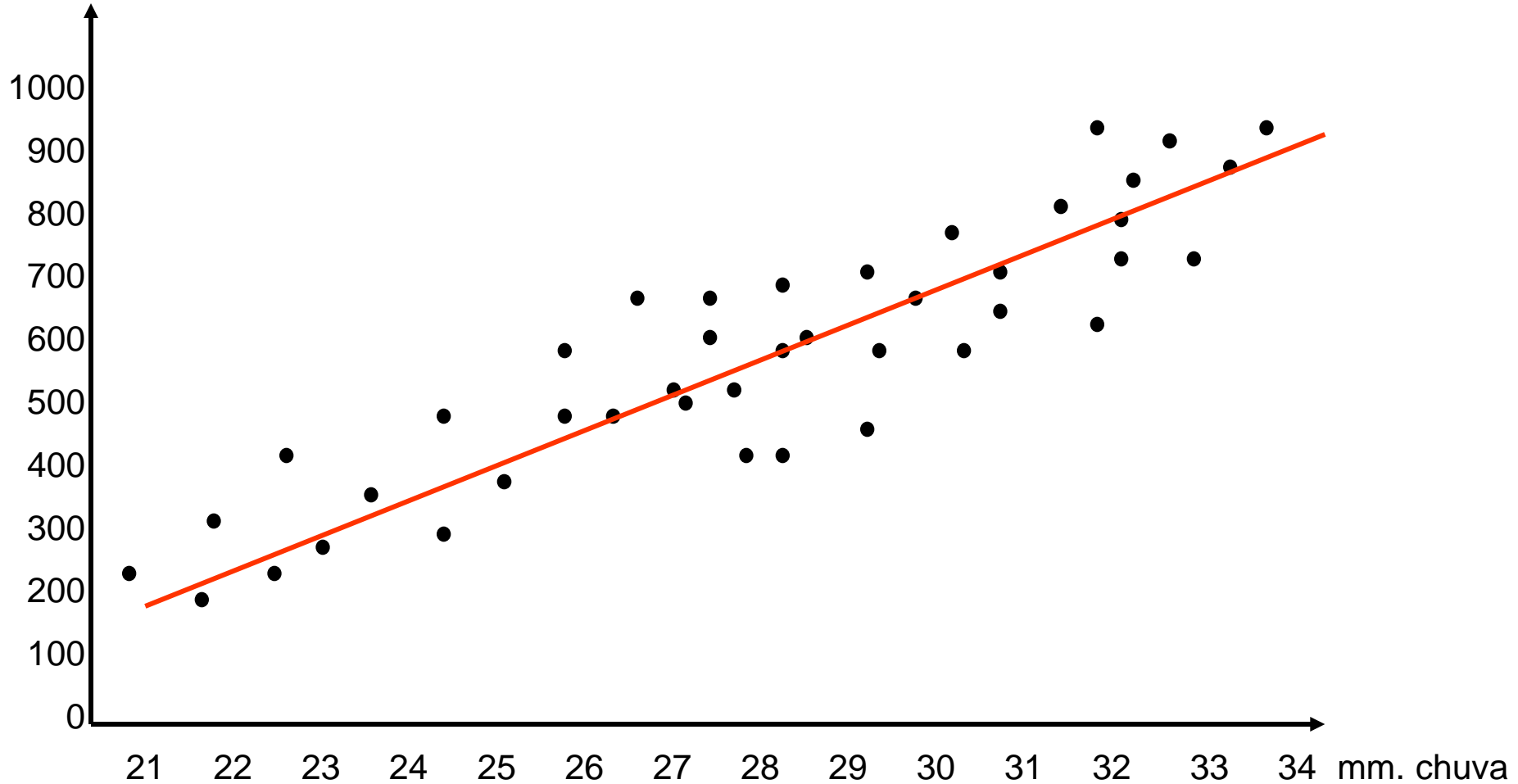


# Análise dos 5 Whys: Pergunte “Por que” 5 vezes buscando identificar a causa raiz do problema

	1º ROUND	2º ROUND	3º ROUND	4º ROUND	5º ROUND	AÇÕES
<b>A</b>	Por que a demora na elevação da pressão?	Por que a capacidade da bomba fica reduzida ?	Por que viscosidade do óleo fica baixa ?	Por que a temperatura do óleo se eleva ?	Por que a refrigeração do trocador é insuficiente ?	
	Porque a capacidade da bomba está reduzida <input type="radio"/> ●	Porque a viscosidade do óleo está baixa <input type="radio"/> ●	Porque a temperatura do óleo hidráulico aumenta <input type="radio"/> ●	Porque a refrigeração do trocador é insuficiente <input type="radio"/> ●	Porque a refrigeração do trocador é insuficiente <input type="radio"/> ●	
<b>B</b>	Por que? <input type="radio"/> ●	Por que? <input type="radio"/> ●	Por que? <input type="radio"/> ●	Por que? <input type="radio"/> ●	Por que? <input type="radio"/> ●	
	Porque <input type="radio"/> ●	Porque o filtro de sucção está entupido <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque a capacidade da torre de refrigeração é insuficiente <input type="radio"/> ●	
<b>C</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Porque <input type="radio"/> ●	Porque ar está sendo inspirado com pouca quantidade de óleo <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque o trocador de calor está com escamação <input type="radio"/> ●	
<b>D</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Porque <input type="radio"/> ●	Porque a engrenagem da bomba está com desgaste <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque o revestimento térmico do tubo de refrigeração não está bom <input type="radio"/> ●	
<b>E</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Introduzir componente para melhorar a qualidade da água
	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque o tubo de água de refrigeração está com crostas <input type="radio"/> ●	
<b>F</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que o cilindro hidráulico está com vazamento? <input type="radio"/> ●	Por que o “O” ring está quebrado? <input type="radio"/> ●	Por que há muita impureza no óleo? <input type="radio"/> ●	Por que não é trocado há muito tempo? <input type="radio"/> ●	Trocar o óleo e instalar dispositivo para remoção de impurezas
	Porque o cilindro hidráulico está com vazamento <input type="radio"/> ●	Porque o “O” ring está quebrado <input type="radio"/> ●	Porque há muita impureza no óleo <input type="radio"/> ●	Porque não é trocado a muito tempo <input type="radio"/> ●	Porque as impurezas não foram eliminadas <input type="radio"/> ●	
<b>G</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Porque a válvula de descarga está com vazamento <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	
<b>H</b>	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	Por que ? <input type="radio"/> ●	
	Porque a válvula solenóide está entupida <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	Porque <input type="radio"/> ●	

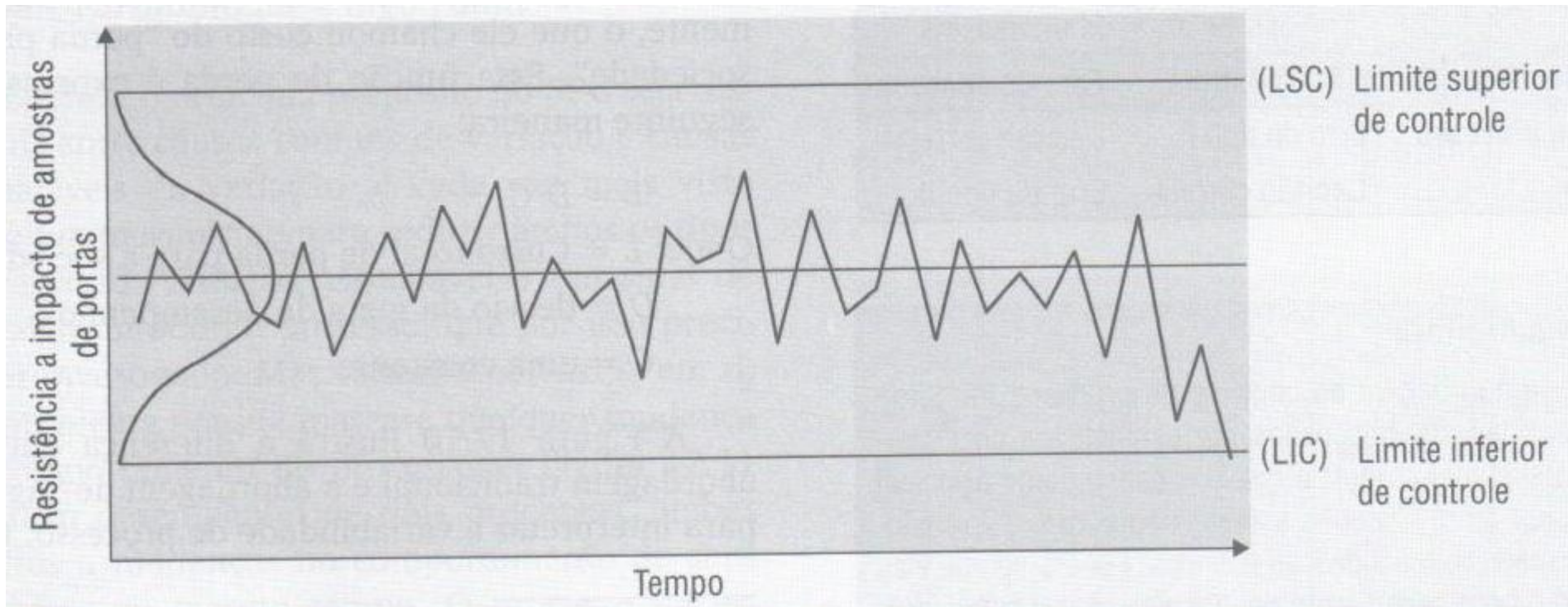
# 6. Diagrama de Dispersão

Nº de Ocorrências de Re-ligação de Energia Elétrica



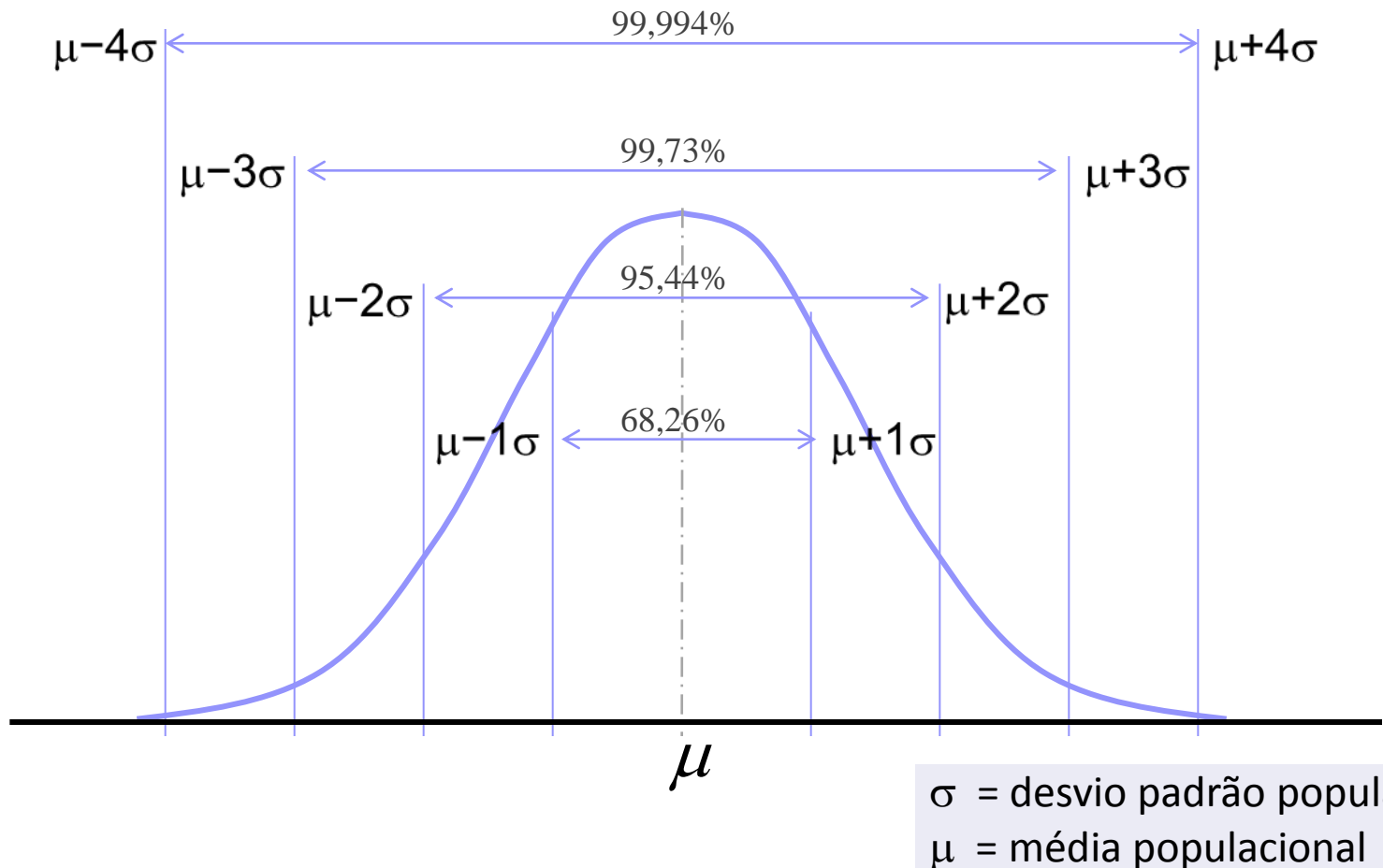
# 7. Gráficos de Controle

Um exemplo



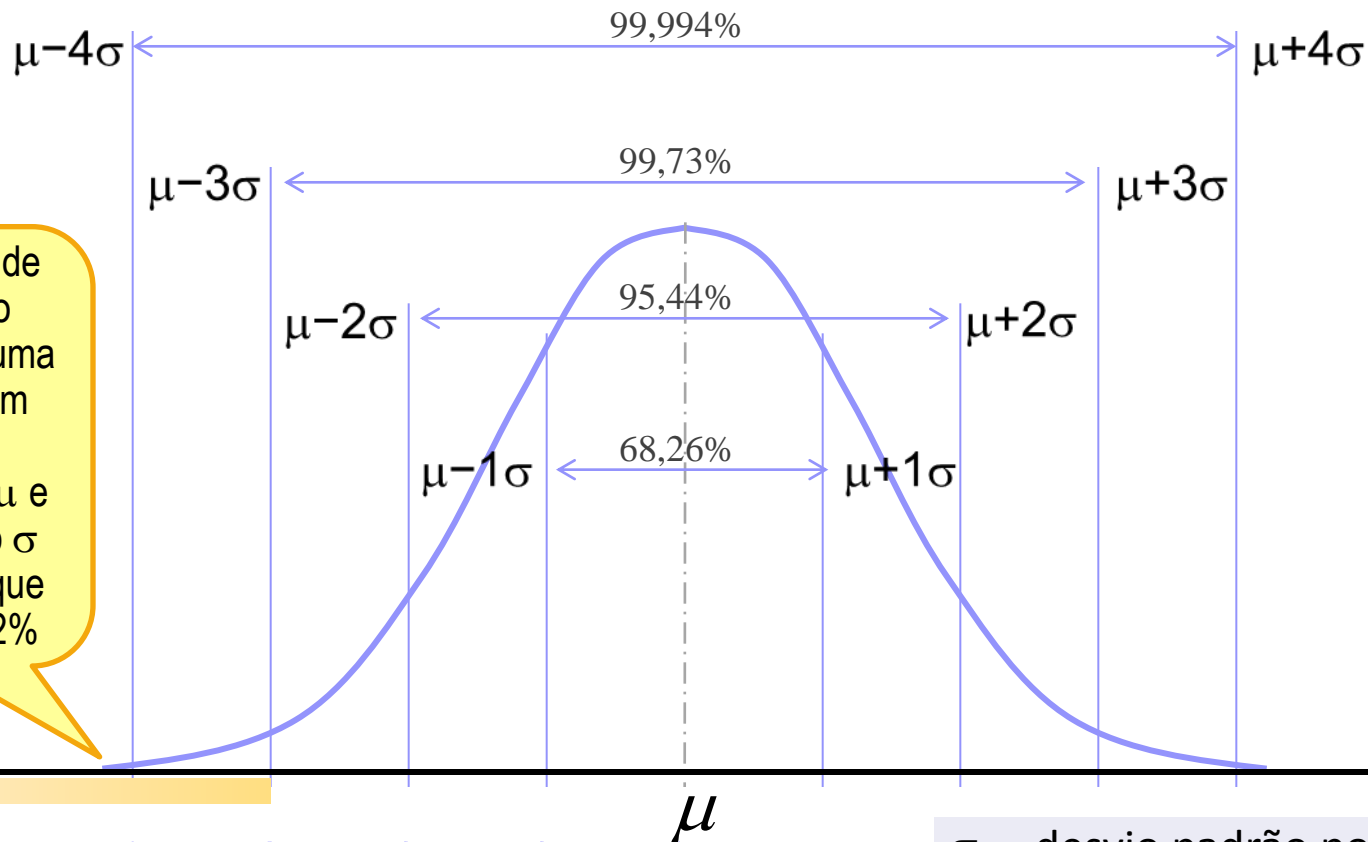
# 7. Gráficos de Controle

## Curva de Gauss da Distribuição Normal



# 7. Gráficos de Controle

## Curva de Gauss da Distribuição Normal



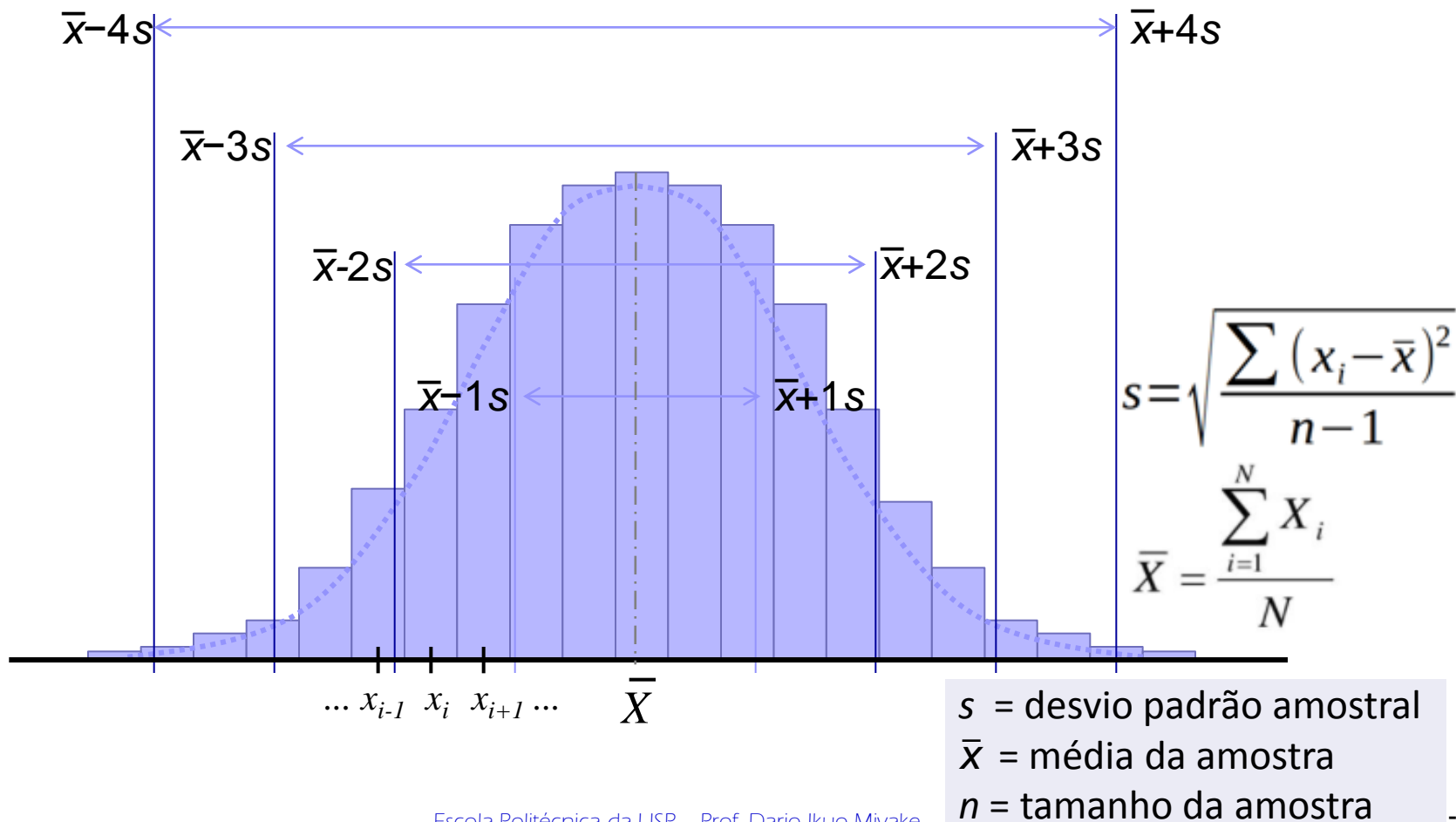
Probabilidade de um elemento pertencente a uma população com distribuição normal média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$  medir menos que  $\mu - 3\sigma$  é  $< 0,2\%$

...  
0,003%    0,132%    2,145%    13,59%    34,13%

$\sigma$  = desvio padrão populacional  
 $\mu$  = média populacional

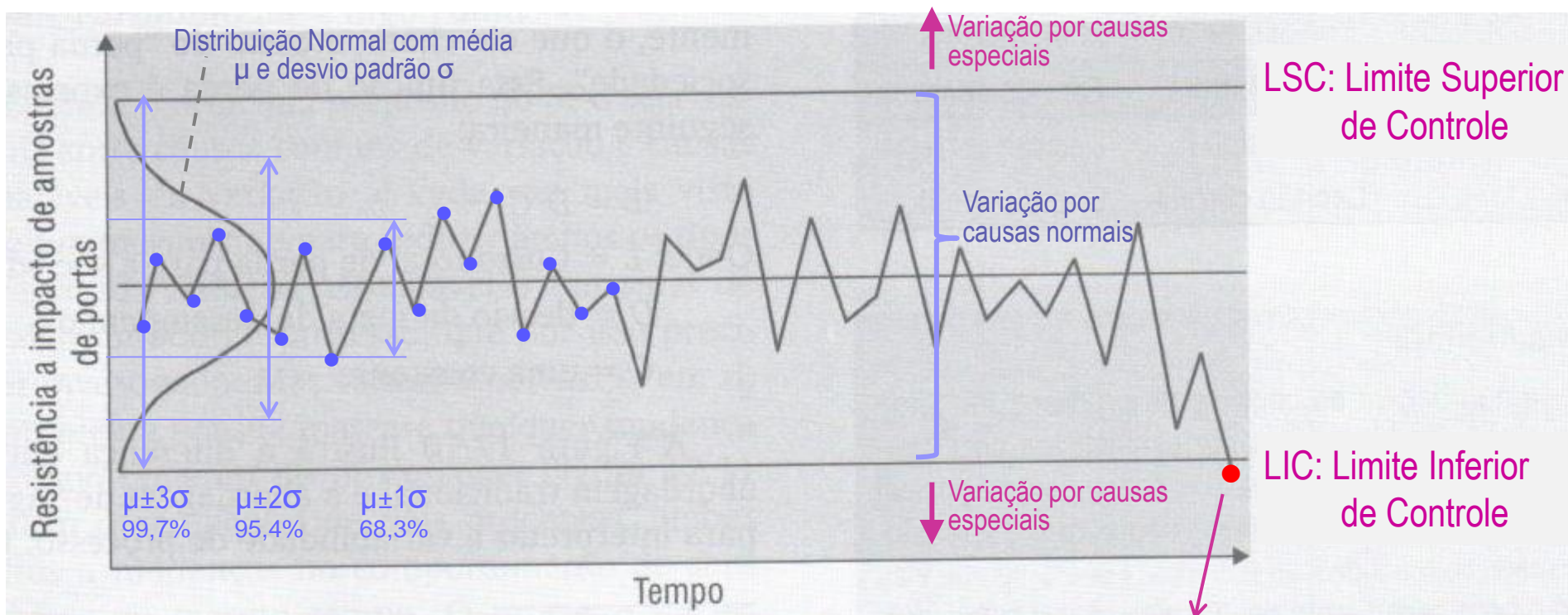
# 7. Gráficos de Controle

## Medidas de posição e dispersão de uma amostra



# 7. Gráficos de Controle

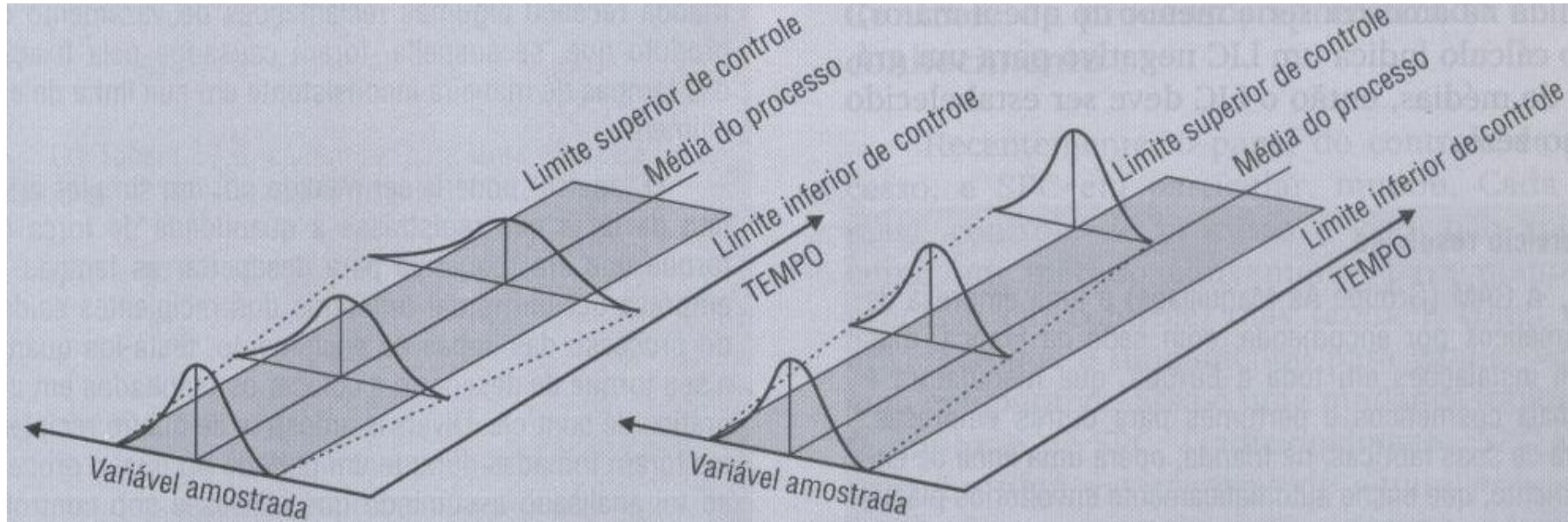
## Um exemplo



Ponto em região fora da faixa de variação por causas comuns, indicando que o processo está "fora de controle"

# 7. Gráficos de Controle

## Média e Faixa do processo



Faixa ( $R$ ) pode mudar no tempo ainda que a média do processo permaneça constante

- ▶ É mais simples calcular a faixa  $R$  do que o desvio-padrão ( $s$ ) da amostra

Média ( $\bar{X}$ ) do processo pode mudar no tempo ainda que a faixa permaneça constante

- ▶ Pode detectar o deslocamento do centro da distribuição



# 7. Gráficos de Controle $\bar{X}$ - $R$

Para construir estes gráficos, é preciso coletar um grande número de amostras ( $m$ ) de um dado tamanho ( $n$ ) e obter a média de cada amostra ( $\bar{X}_i$ ) e a faixa média ( $\bar{R}$ )

**Gráfico para controlar média**

Média geral: 
$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_m}{m}$$

Limite superior de controle (LSC) para média: 
$$\bar{\bar{X}} + A_2 \cdot \bar{R}$$

Limite inferior de controle (LIC) para média: 
$$\bar{\bar{X}} - A_2 \cdot \bar{R}$$

**Gráfico para controlar variação (pela medida da faixa)**

Faixa média: 
$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_m}{m}$$

Limite superior de controle (LSC) para faixa: 
$$D_4 \cdot \bar{R}$$

Limite inferior de controle (LIC) para faixa: 
$$D_3 \cdot \bar{R}$$

# 7. Gráficos de Controle

Tamanho da amostra $n$	$A_2$	$D_3$	$D_4$
2	1,880	0	3,267
3	1,023	0	2,275
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,115
6	0,483	0	2,004
7	0,419	0,076	1,924
8	0,373	0,136	1,864
9	0,337	0,184	1,816
10	0,308	0,223	1,777
12	0,266	0,284	1,716
14	0,235	0,329	1,671
16	0,212	0,364	1,636
18	0,194	0,392	1,608
20	0,180	0,414	1,586
22	0,167	0,434	1,566
24	0,157	0,452	1,548

Esta tabela fornece os valores de  $A_2$ ,  $D_3$  e  $D_4$  para a determinação dos limites de controle para  $\bar{x}$  e  $R$  em função do tamanho das amostras coletadas ( $n$ )

# 7. Gráficos de Controle

Categorias básicas de causas que podem provocar variações no efeito (resultado) de um processo, lembrando que tudo varia em alguma medida

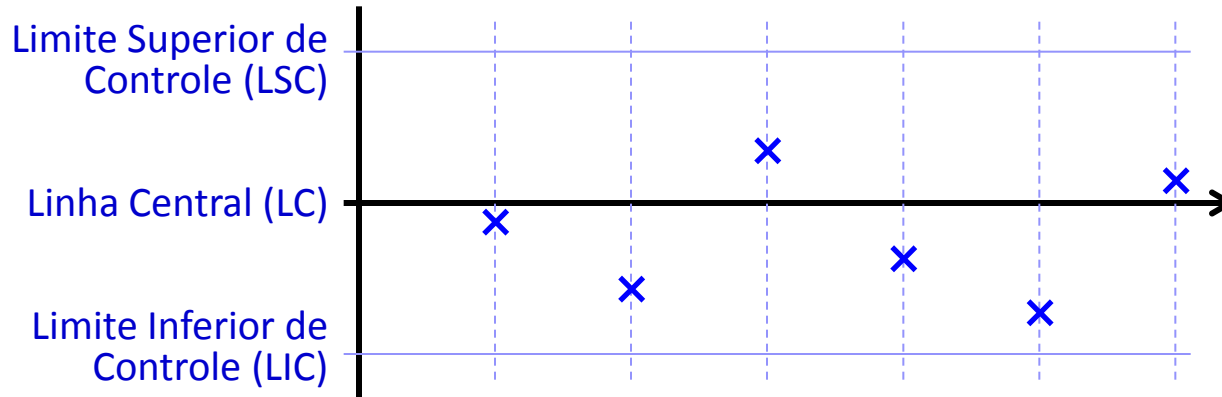
## Causas Comuns

- A variação que causam é a esperada em um processo.
- São causas de variação aleatória, não identificáveis, que são inevitáveis no processo corrente.

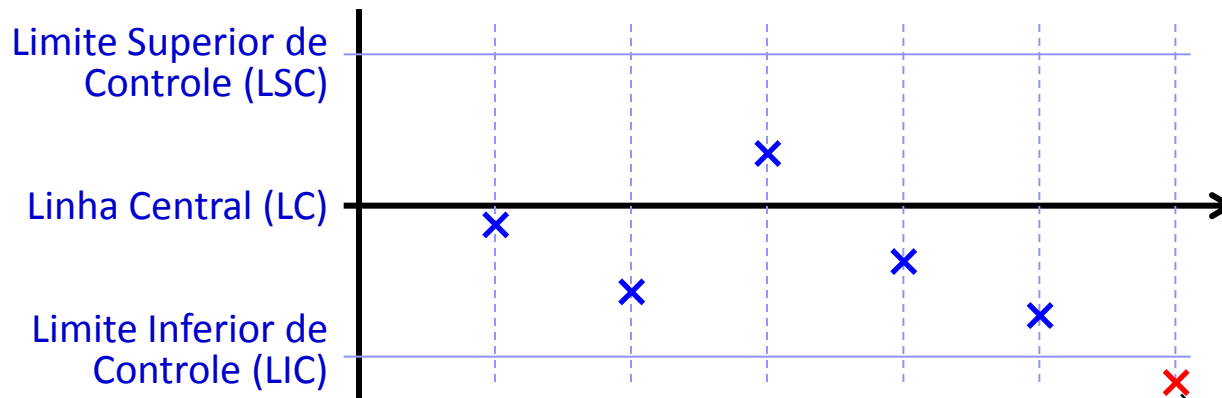
## Causas Assinaláveis

- A variação que causa é inesperada e resulta de eventos pouco comuns.
- Conhecidas também como causas “especiais”, incluem quaisquer fatores causadores de variação que podem ser identificados e eliminados.

# 7. Gráficos de Controle



Indicação de que o processo está operando “normalmente”



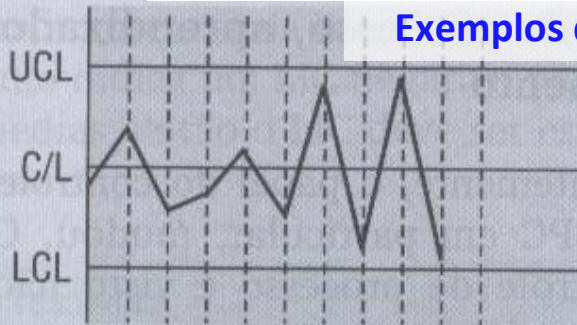
Pontos que caem fora dos limites de controle indicam que o processo pode “estar fora de controle”

Evento incomum que é possível que tenha sido causado por alguma causa especial

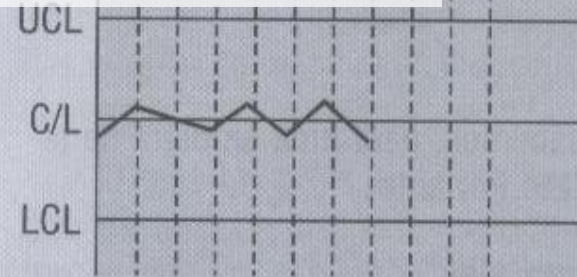
Se os pontos estiverem caindo dentro dos limites de controle então podemos admitir que o processo “está sob controle” e ficar despreocupados?

# 7. Gráficos de Controle

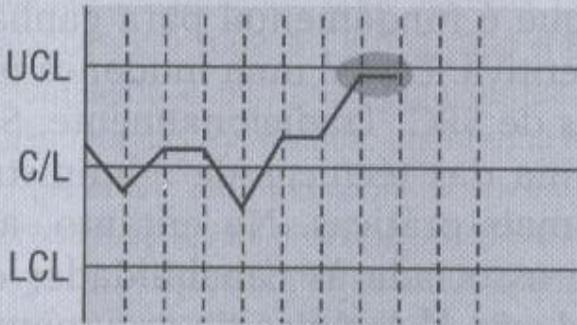
Exemplos de seqüências de pontos pouco comuns



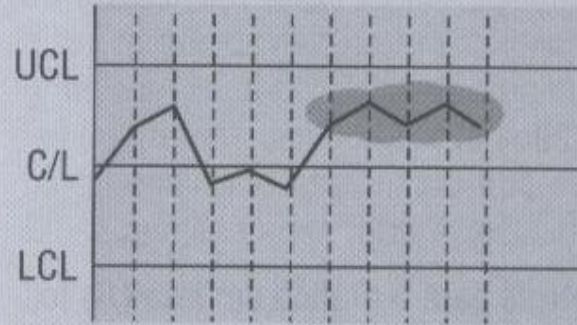
(a) Comportamento alternante - investigar



(d) Comportamento estranhamente na média - investigar



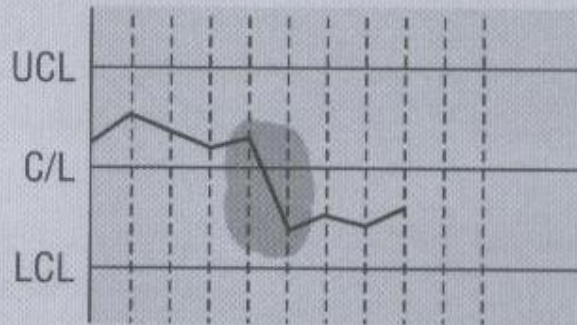
(b) Dois pontos próximos de um limite de controle - investigar



(e) Cinco pontos de um lado da linha central - investigar



(c) Tendência aparente em um sentido - investigar



(f) Súbita mudança do nível - investigar

LSC: Limite Superior de Controle

LC: Linha Central

LIC: Limite Inferior de Controle

# Variação do processo em relação à faixa de especificação requerida

## Capabilidade do processo ( $C_p$ )

$$C_p = \frac{LST - LIT}{6.s}$$

Avaliação do cálculo do índice:

Processo incapaz:  $C_p < 1$

Processo aceitável:  $1 \leq C_p \leq 1,33$

Processo capaz:  $C_p \geq 1,33$

O índice  $C_p$  não é sensível ao deslocamento da média do processo

$$C_{pk} = \text{Min} \left( \frac{LST - \bar{X}}{3.s}, \frac{\bar{X} - LIT}{3.s} \right)$$

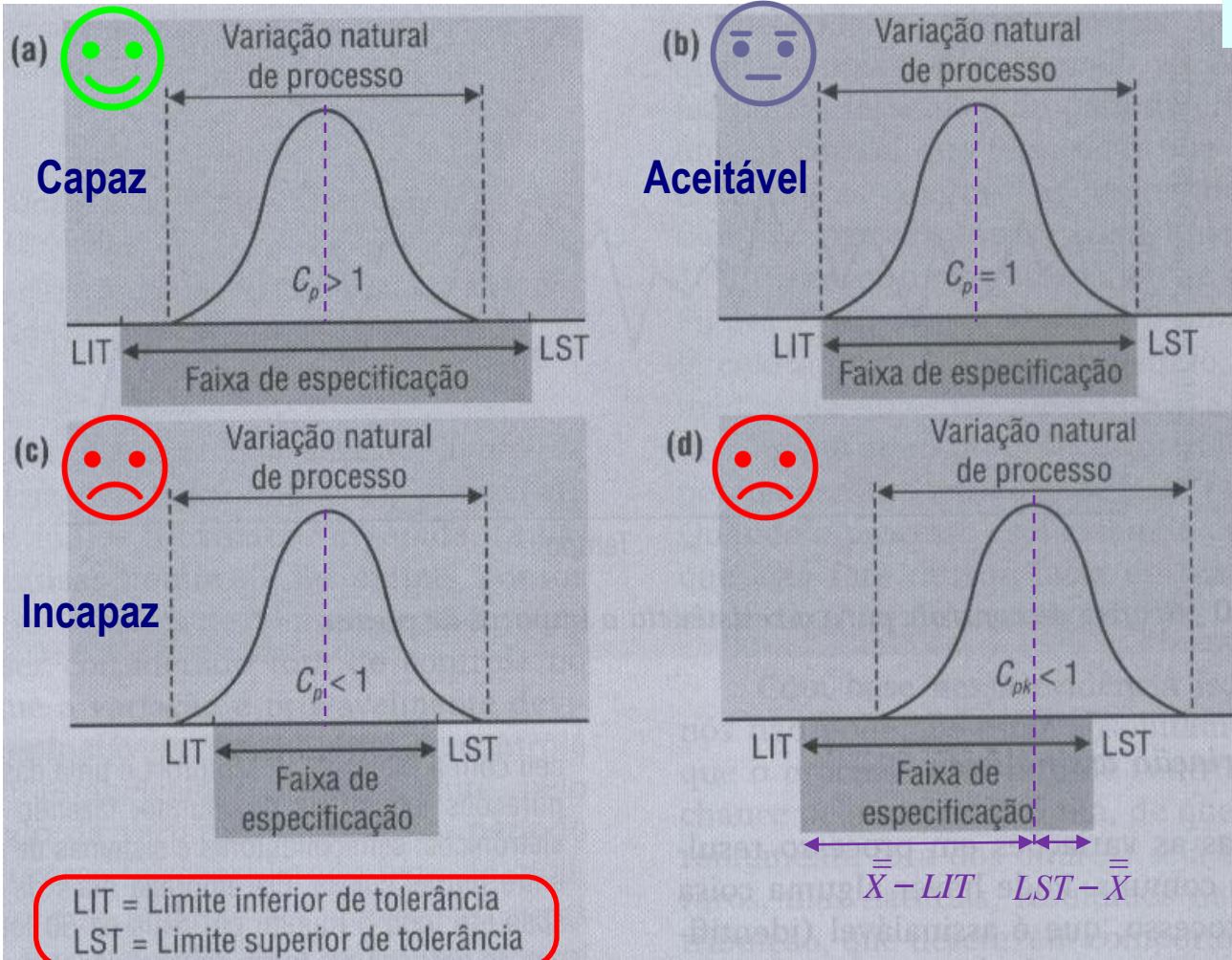
Avaliação do cálculo do índice:

Processo incapaz:  $C_{pk} < 1$

Processo aceitável:  $1 \leq C_{pk} \leq 1,33$

Processo capaz:  $C_{pk} \geq 1,33$

O índice  $C_{pk}$  considera o quanto o processo está centralizado





# Gráficos de Controle: exemplos

## Exercício Resolvido

A GAM (Group As Maquillage) é uma empresa de cosméticos por encomenda, sediada na França, mas com instalações em toda a Europa, que manufatura e embala cosméticos e perfumes para outras empresas. Uma de suas fábricas, na Irlanda, opera uma linha de enchimento que automaticamente enche envoltórios plásticos com cremes para pele e sela os recipientes com uma tampa de rosca. A força com que cada tampa é fixada é uma parte importante da qualidade do processo da linha de enchimento. Se a tampa é rosqueada apertado demais, existe o perigo de quebra; se é rosqueada muito fracamente, pode abrir quando embalada. Qualquer uma dessas saídas poderia causar escape de produto no seu caminho entre a fábrica e o consumidor. A fábrica da Irlanda recebeu algumas reclamações de vazamento de produto que, suspeita-se, foram causados pela fixação das tampas de maneira inconsistente na sua linha de enchimento. O “aperto” poderia ser medido por um simples artefato de teste que registrasse a quantidade de força de torque que era requerida para desapertar as tampas. A empresa decidiu tomar amostras dos recipientes saídos do processo das linhas de enchimento, testá-los quanto ao seu torque de desaperto e colocar os resultados em um **Gráfico de Controle**. Diversas amostras de quatro (4) recipientes foram tomadas durante um período no qual o processo foi considerado sob controle. Os seguintes dados foram calculados desse exercício:

A média geral de todas as amostras:  $\bar{X} = 812 \text{ g/cm}^3$

A média de faixa da amostra:  $\bar{R} = 6 \text{ g/cm}^3$

O limite de controle para o **gráfico da média** ( $\bar{X}$ ) foi calculado como segue:

$$\text{LSC} = \bar{X} + A_2 \cdot R = 812 + (A_2 \times 6) \quad \text{e} \quad \text{LIC} = \bar{X} - A_2 \cdot R = 812 - (A_2 \times 6)$$

Pela tabela apresentada anteriormente, sabemos que para uma amostra de tamanho 4,  $A_2 = 0,729$ . Portanto:

$$\text{LSC} = 812 + 0,729 \times 6 = 816,37 \quad \text{e} \quad \text{LIC} = 812 - 0,729 \times 6 = 807,63$$

Os limites de controle para o **gráfico de faixa** ( $R$ ) foram calculados como segue considerando os valores de  $D_3$  e  $D_4$  obtidos do *slide* anterior:

$$\text{LSC} = D_4 \times \bar{R} = 2,282 \times 6 = 13,69$$

$$\text{LIC} = D_3 \times \bar{R} = 0 \times 6 = 0$$

Depois de calcular essas médias e limites para o Gráfico de Controle, a empresa tomou regularmente amostras de 4 recipientes durante a produção, registrou as medidas e as colocou em gráfico, como mostra a Figura do slide seguinte. O **Gráfico de Controle** revelou que somente com dificuldade a média do processo poderia se mantida sob controle. Foram requeridas intervenções ocasionais do operador. Além disso, a faixa do processo estava movendo-se para o limite de controle superior (tendo ultrapassado uma vez). O processo parecia estar se tornando mais variável. Depois da investigação, foi descoberto que, devido à manutenção falha da linha, os cremes para pele estavam ocasionalmente contaminando a cabeça de torque (a parte da linha que se adapta à tampa). O resultado era um aperto aleatório das tampas.

# Exemplo de Gráfico de Controle

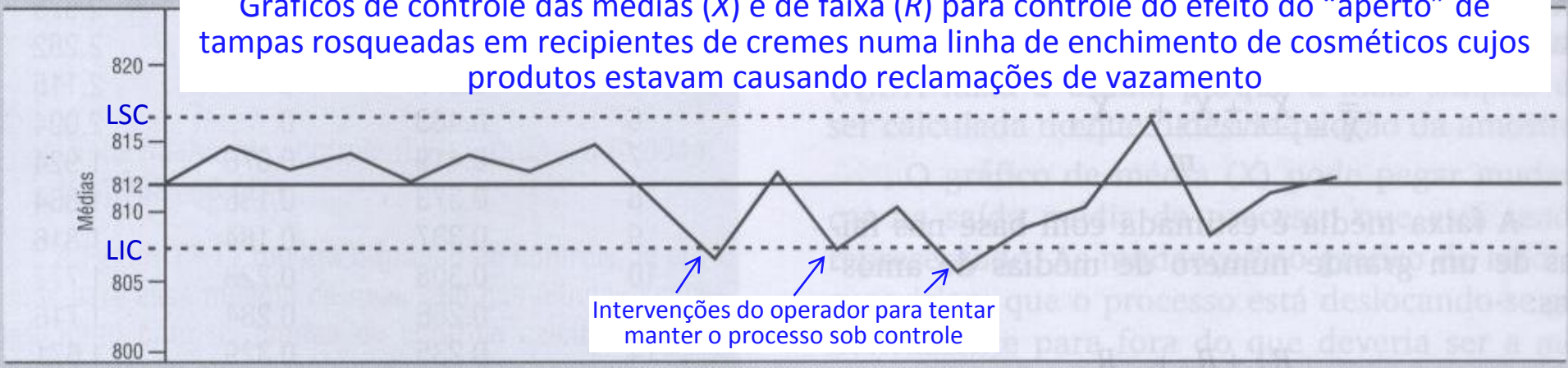
GAM

Qualidade imposta

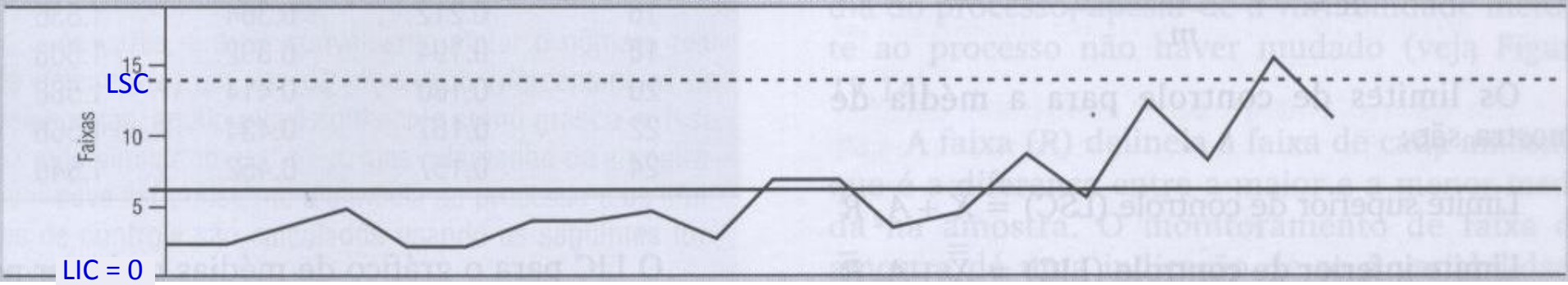
GRÁFICO

Processo	Torque Cap #3	Produto	Ski lan 707	Tolerância	807 - 817																
Máquina	M732	Operador	CH	Unidades	g / cm <sup>1</sup> (Medida de torque para desapertar)																
Data	2/6																				
Tempo	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	
Medidas de amostra	1	811	813	811	817	812	813	813	817	808	805	813	812	811	808	812	808	808	804	804	813
	2	812	814	813	814	813	814	815	813	813	808	812	805	813	806	813	809	818	813	812	819
	3	813	815	815	812	812	814	813	814	811	806	816	806	811	803	808	813	819	812	812	813
	4	812	814	813	813	811	815	811	815	813	807	809	808	809	805	804	814	821	808	820	807
	5																				
Soma	3248	3256	3252	3248	3248	3256	3252	3259	3245	3225	3250	3231	3244	3222	3237	3244	3266	3237	3248	3252	
Média X	812	814	813	814	812	814	813	815	811	807	813	808	811	806	809	811	817	809	812	813	
Faixa R	2	2	4	5	2	2	4	4	5	3	7	7	4	5	9	6	13	9	16	12	

Gráficos de controle das médias ( $\bar{X}$ ) e de faixa ( $R$ ) para controle do efeito do “aperto” de tampas rosqueadas em recipientes de cremes numa linha de enchimento de cosméticos cujos produtos estavam causando reclamações de vazamento



Intervenções do operador para tentar manter o processo sob controle



LIC = 0

Fonte: adaptada da Fig. 17.14 de Nigel Slack et al. (2009) Administração da Produção, São Paulo: Atlas. Cap.17.



# Exemplo de Gráfico de Controle

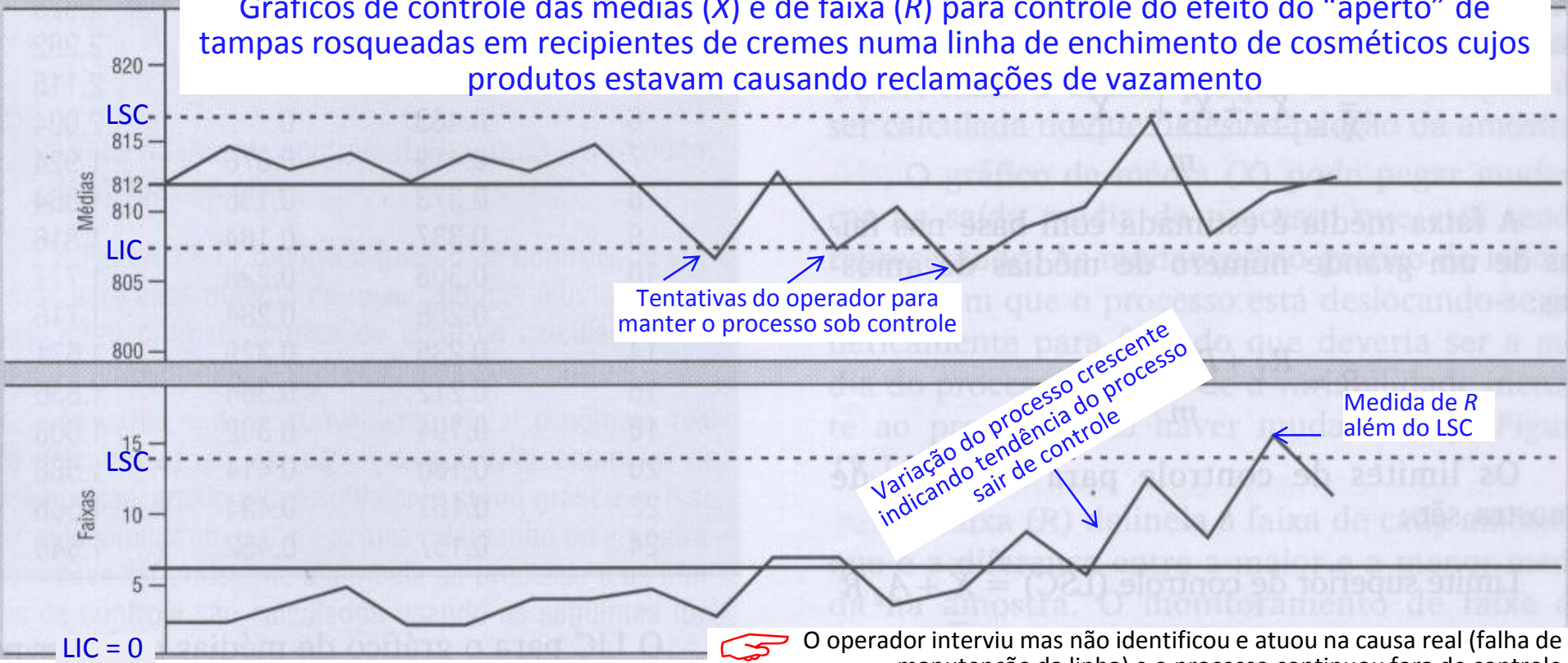
GAM

Qualidade imposta

GRÁFICO

Processo	Torque Cap #3	Produto	Ski lan 707	Tolerância	807 - 817																
Máquina	M732	Operador	CH	Unidades	g / cm <sup>3</sup> (Medida de torque para desapertar)																
Data	2/6																				
Tempo	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	
Médias de amostra	1	811	813	811	817	812	813	813	817	808	805	813	812	811	808	812	808	808	804	804	813
	2	812	814	813	814	813	814	815	813	813	808	812	805	813	806	813	809	818	813	812	819
	3	813	815	815	812	812	814	813	814	811	806	816	806	811	803	808	813	819	812	812	813
	4	812	814	813	813	811	815	811	815	813	807	809	808	809	805	804	814	821	808	820	807
	5																				
Soma	3248	3256	3252	3248	3248	3256	3252	3259	3245	3225	3250	3231	3244	3222	3237	3244	3266	3237	3248	3252	
Média X	812	814	813	814	812	814	813	815	811	807	813	808	811	806	809	811	817	809	812	813	
Faixa R	2	2	4	5	2	2	4	4	5	3	7	7	4	5	9	6	13	9	16	12	

Gráficos de controle das médias ( $\bar{X}$ ) e de faixa ( $R$ ) para controle do efeito do "aperto" de tampas rosqueadas em recipientes de cremes numa linha de enchimento de cosméticos cujos produtos estavam causando reclamações de vazamento



Tentativas do operador para manter o processo sob controle

Variação do processo crescente indicando tendência do processo sair de controle

Medida de R além do LSC

O operador interviu mas não identificou e atuou na causa real (falha de manutenção da linha) e o processo continuou fora de controle

Fonte: adaptada da Fig. 17.14 de Nigel Slack et al. (2009) Administração da Produção, São Paulo: Atlas. Cap.17.

# Custos da Qualidade

Quanto se gasta para ter qualidade?

Quanto se gasta com os problemas causados por defeitos, pelas não conformidades, etc.

## Custo Total da Qualidade

### Custos de Controle

### Custos de Falhas no Controle

#### Custos de Prevenção

#### Custos de Avaliação

#### Custos de Falhas Internas

#### Custos de Falhas Externas

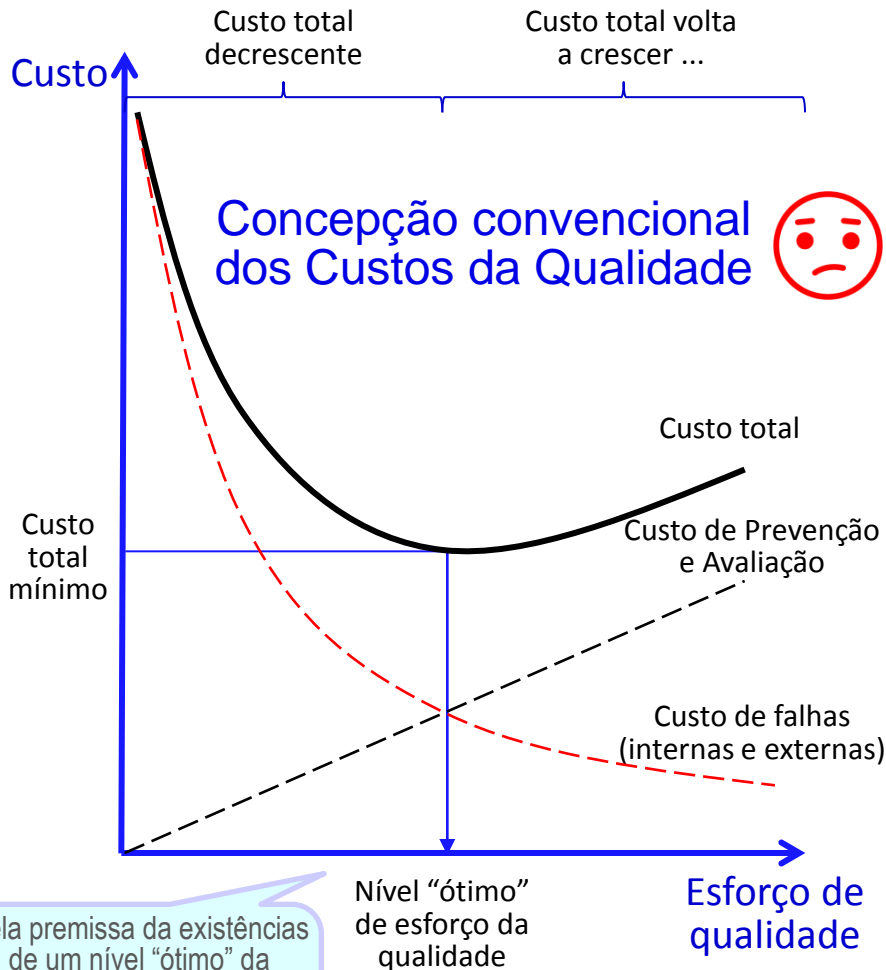
- Planejamento da qualidade
- Planejamento do processo
- Treinamento
- Projeto de melhoria

- Inspeção de materiais
- Inspeção de processos
- Inspeção de produto acabado
- Laboratório de controle de qualidade

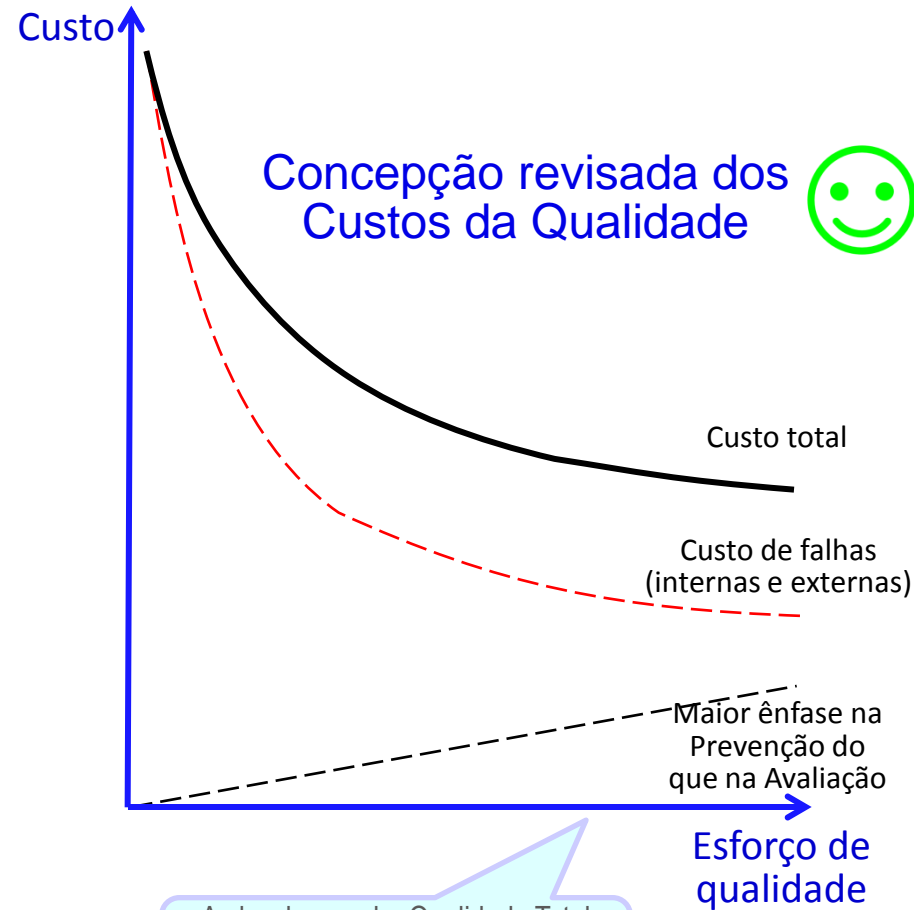
- Desperdícios
- Retrabalho
- Paradas não planejadas
- Acidentes de trabalho
- Armazenagem adicional

- Garantia
- Devolução ou troca de mercadoria
- Tratamento de reclamação de clientes
- Perda de vendas
- Multas contratuais
- Danos na imagem e reputação

# Diferentes Visões para o Custo Total da Qualidade



Pela premissa da existências de um nível "ótimo" da qualidade, não compensaria continuar investindo na qualidade além dele



A abordagem da Qualidade Total rejeita a noção de que existe um nível "ótimo" da qualidade