

CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO



C E P

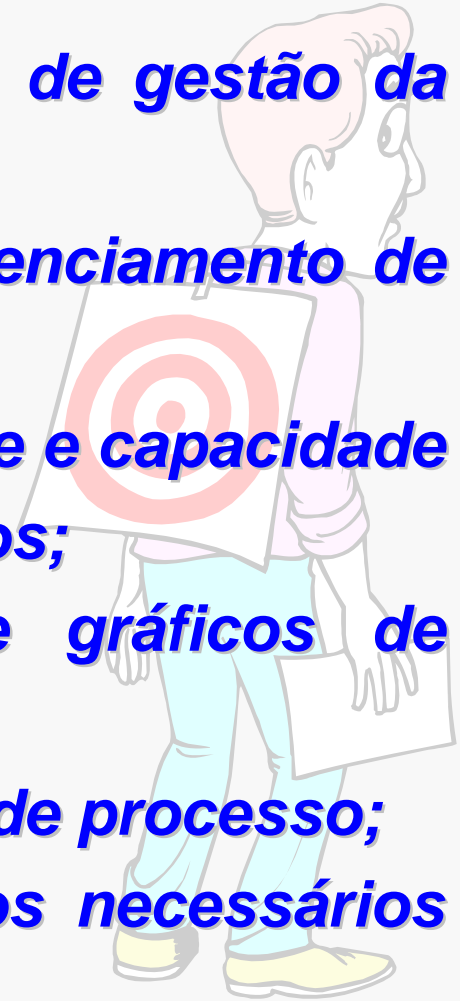
Itajubá/MG
20 de Julho de 2000

Apresentar os conceitos e as ferramentas básicas do CEP, destinadas ao controle, capacidade e melhoria de processos produtivos.



Objetivos específicos

- 1. Introduzir o conceito de processo e de gestão da rotina;**
- 2. Discutir os principais pontos do gerenciamento de processos;**
- 3. Apresentar o conceito de variabilidade e capacidade de processo na avaliação de processos;**
- 4. Apresentar os principais tipos de gráficos de controle;**
- 5. Apresentar os índices de capacidade de processo;**
- 6. Prover o entendimento dos conceitos necessários para aplicação prática do CEP.**

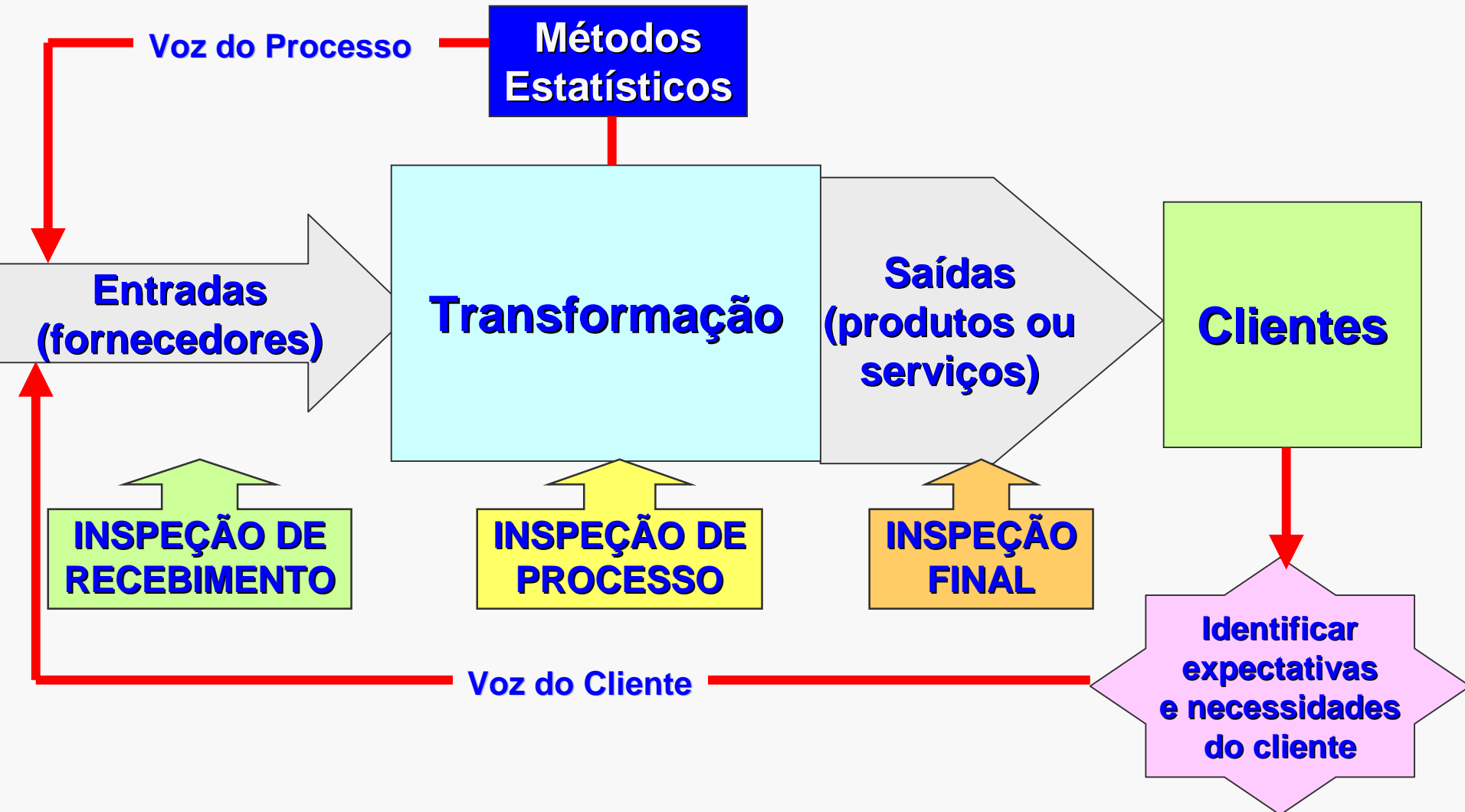


- 1. *Introdução***
- 2. *Gerenciamento de processos***
- 3. *Avaliação de processos***
- 4. *Gráficos de processo***
- 5. *Capacidade de processos***

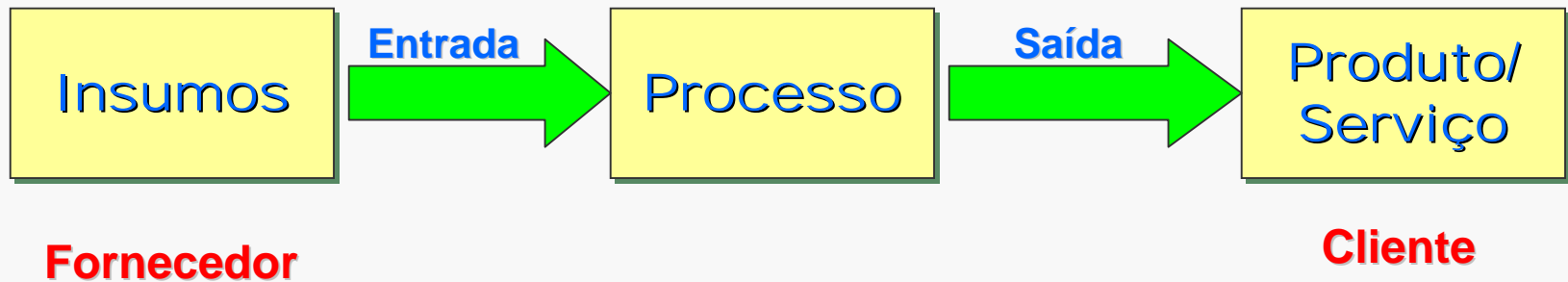
CAPÍTULO 1

Introdução

Conceito de processo

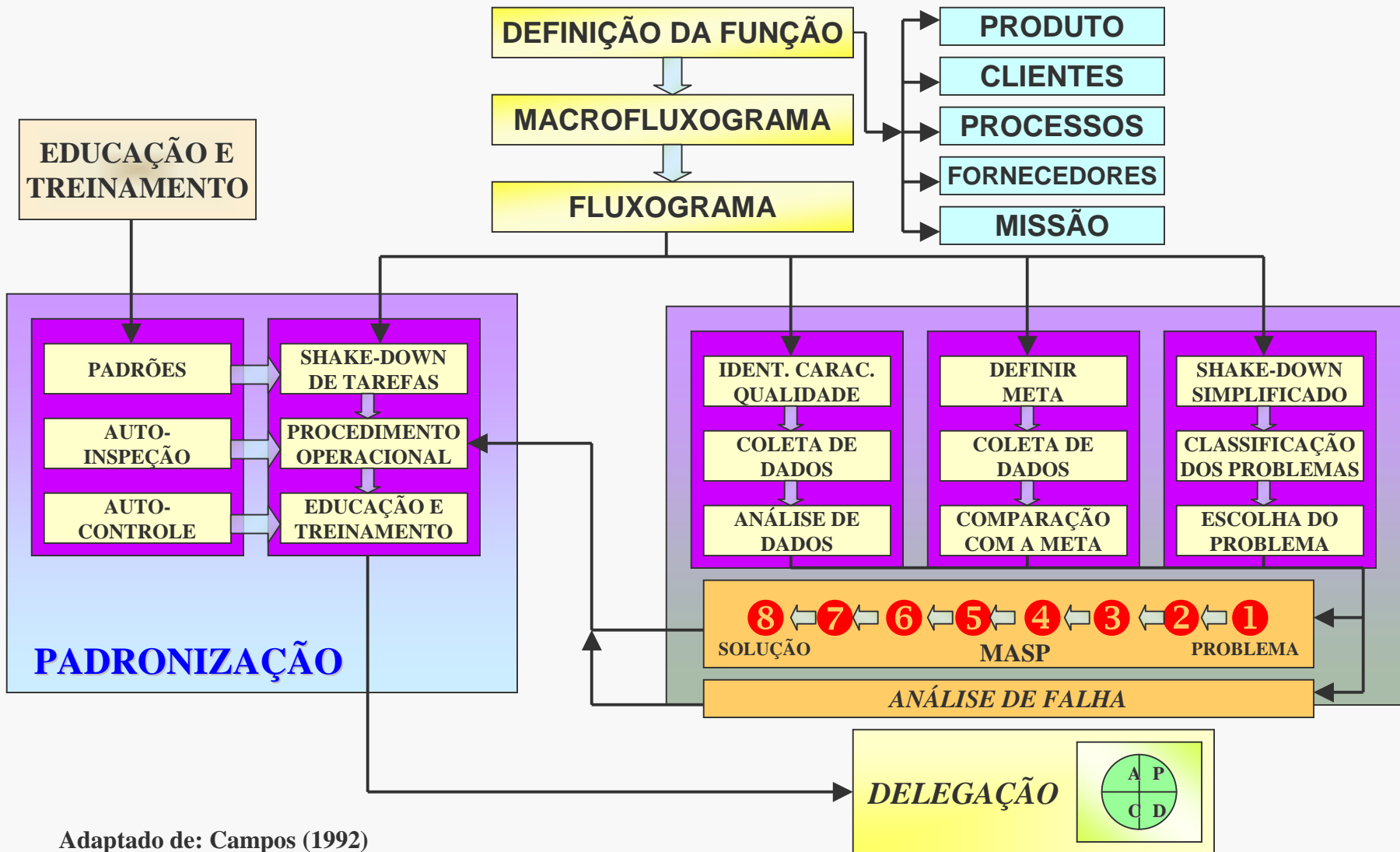


Objetivo de um processo



Produzir um produto que satisfaça totalmente ao cliente.

Conceito de rotina



Adaptado de: Campos (1992)



Copyright Hinshitsu 2000 - Todos os direitos reservados - Cópias somente com permissão ou citando a fonte.

Causas comuns

- Referem-se a muitas fontes de variação dentro de um processo que se encontra sob controle estatístico;
- Agem como um sistema constante de causas aleatórias;
- Seus valores individuais se apresentam diferentes entre si, em grupo, podem ser descritos por uma distribuição;
- Podem ser caracterizadas por localização, dispersão e forma.

Causas especiais (assinaláveis)

- Referem-se a quaisquer fatores de variação, que não podem ser explicados adequadamente através de uma distribuição simples de resultados;
- Afetam de forma imprevisível o resultado do processo, a menos que sejam identificadas e eliminadas.

Ações locais e ações sobre o sistema

ACÇÕES LOCAIS:

- São usualmente requeridas para eliminar causas especiais de variação.
- Podem frequentemente ser executadas por pessoas próximas ao processo.
- Podem corrigir cerca de 15% dos problemas do processo.

ACÇÕES SOBRE O SISTEMA:

- São usualmente requeridas para reduzir a variação devido a causas comuns.
- Quase sempre exigem ação gerencial para a correção.
- São necessárias para corrigir aproximadamente 85% dos problemas do processo.

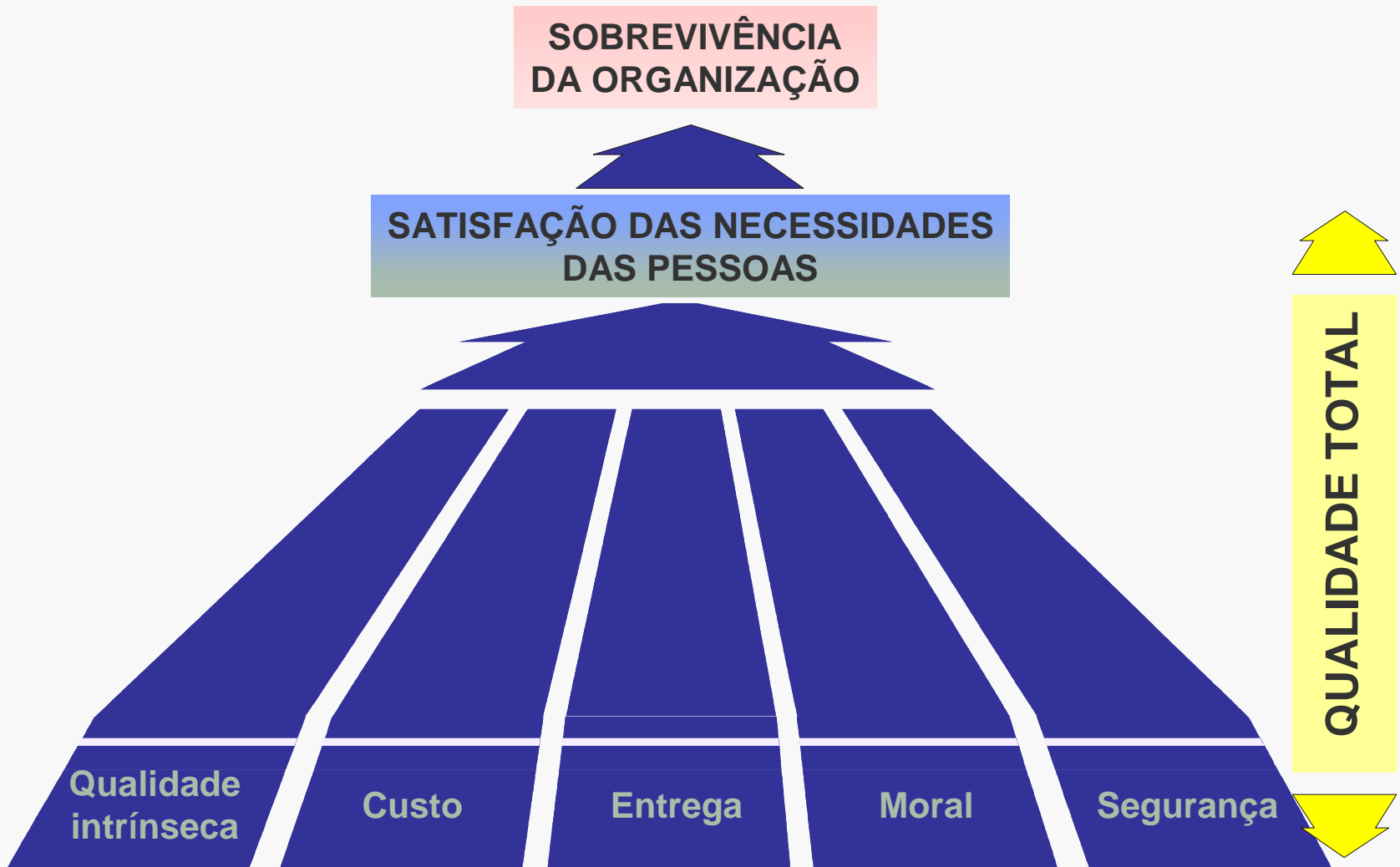


CAPÍTULO 2

Gerenciamento de Processos



Dimensões da qualidade



Fonte: FCO - Fundação Christiano Ottoni, UFMG.



Copyright Hinshitsu 2000 - Todos os direitos reservados - Cópias somente com permissão ou citando a fonte.

Itens de controle

Os itens de controle de um processo são índices numéricos estabelecidos sobre os efeitos de cada processo, a fim de medir a sua qualidade.

Portanto, um processo é gerenciado através dos seus itens de controle, que medem a sua qualidade, custo, entrega, moral e segurança dos seus efeitos.

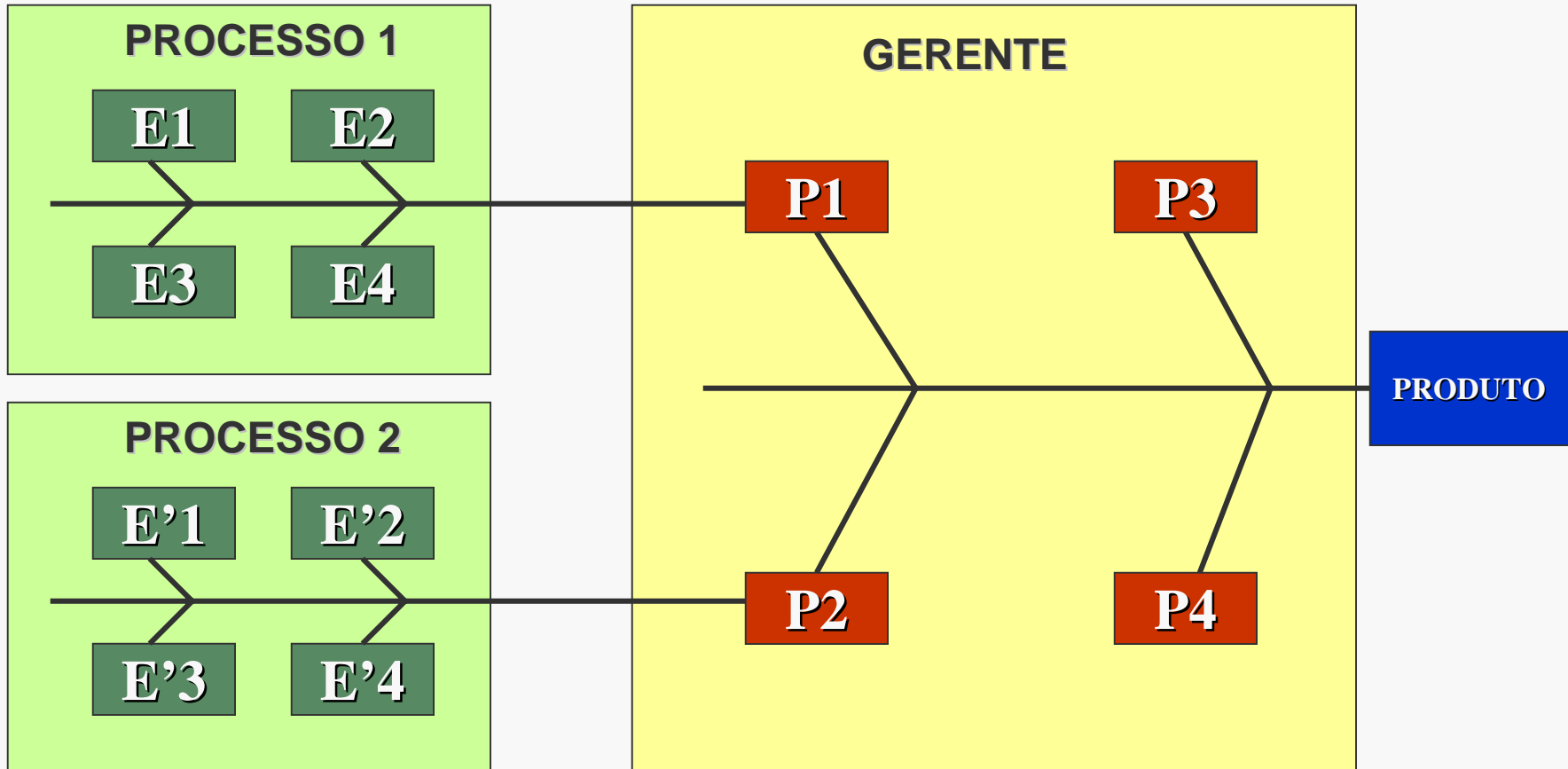
Itens de verificação

Os itens de verificação de um processo são índices numéricos estabelecidos sobre as principais causas que afetam determinado item de controle.

Os resultados de um item de controle são garantidos pelo acompanhamento dos itens de verificação. Os itens de verificação são estabelecidos sobre os pontos de verificação do processo.

Relação entre itens de controle e de verificação

Os itens de verificação e os itens de controle estão ligados por uma relação de causa e efeito.

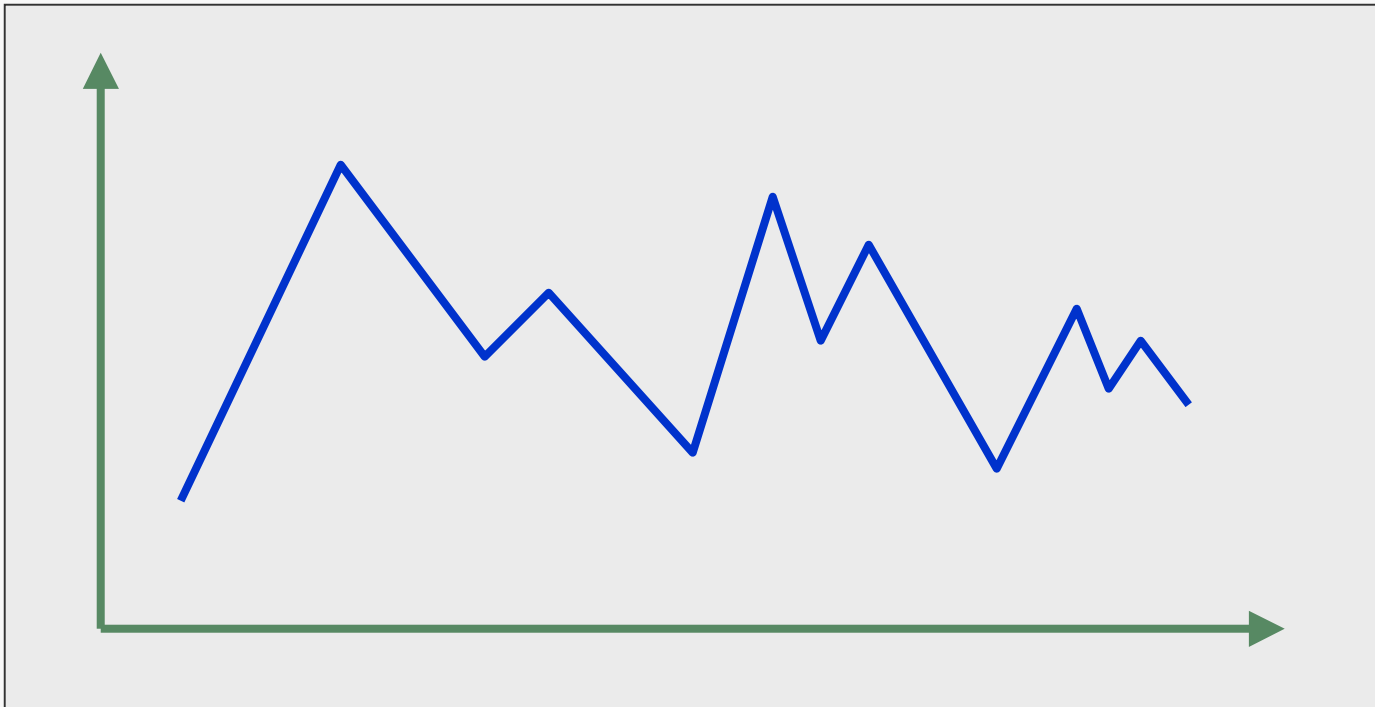


Estabelecimento de metas

- **PRIMEIRA REFERÊNCIA:** diretrizes da alta administração.
 - **DIRETRIZES AUSENTES:** as metas do processo podem ser definidas em função dos resultados do melhor do mundo (benchmarking).
 - **TERCEIRA POSSIBILIDADE:** negociação entre gerentes na relação fornecedor-cliente.
-
- Ao se definir uma meta, qualquer que seja o critério, é preciso que o significado dela fique bem claro para todos.

Gerenciamento de processos

- Um gráfico é a melhor forma de se acompanhar a evolução de um processo.



Ciclo PDCA

P - Planejar (Plan)

D - Executar (Do)

C - Verificar (Check)

A - Agir (Act)



CAPÍTULO 3

Avaliação de Processos

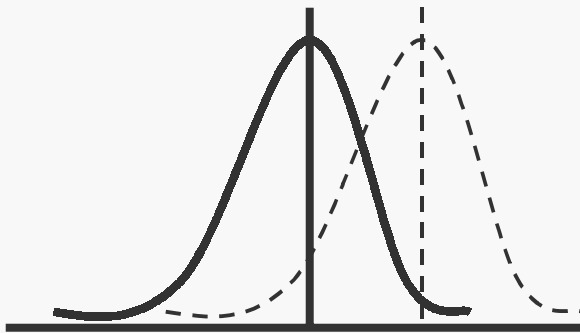
Conceito de variabilidade

- Dois produtos ou características nunca são exatamente iguais, pois qualquer processo contém muitas fontes de variabilidade.
- As diferenças entre produtos podem ser grandes ou imensamente pequenas, mas elas estão sempre presentes.

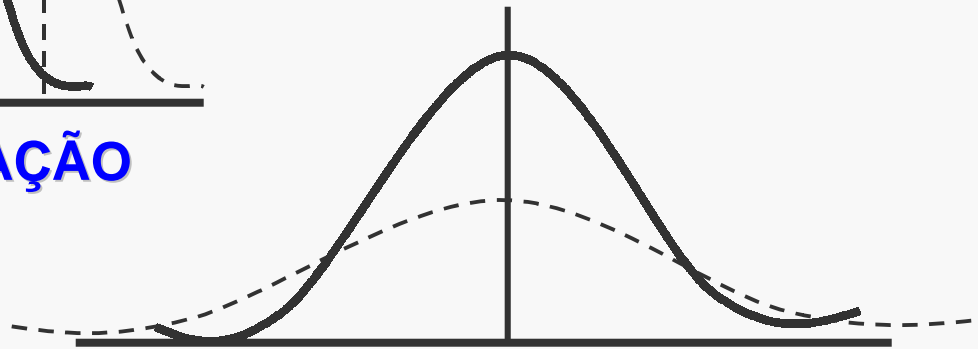
Exemplo de variabilidade

- O diâmetro de um eixo usinado pode variar devido a:
 - Máquina (folga, desgaste do rolamento);
 - Ferramenta (esforço, desgaste);
 - Material (diâmetro, dureza);
 - Operador (precisão na centralização, alimentação da máquina);
 - Manutenção (lubrificação, reposição de peças gastas);
 - Meio Ambiente (temperatura, constância do fornecimento elétrico).

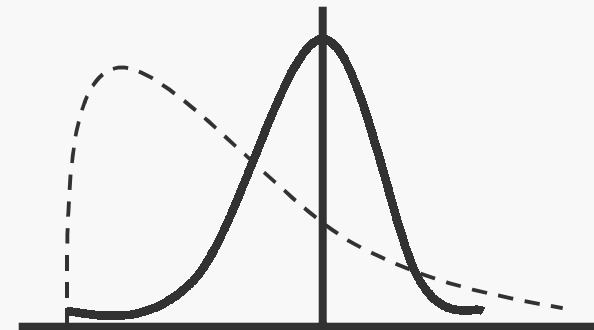
Variabilidade e suas fontes



LOCALIZAÇÃO



DISPERSÃO



FORMA

- Para promover a redução da variabilidade, deve-se conhecê-la bem. Isso só é possível através da coleta de dados.

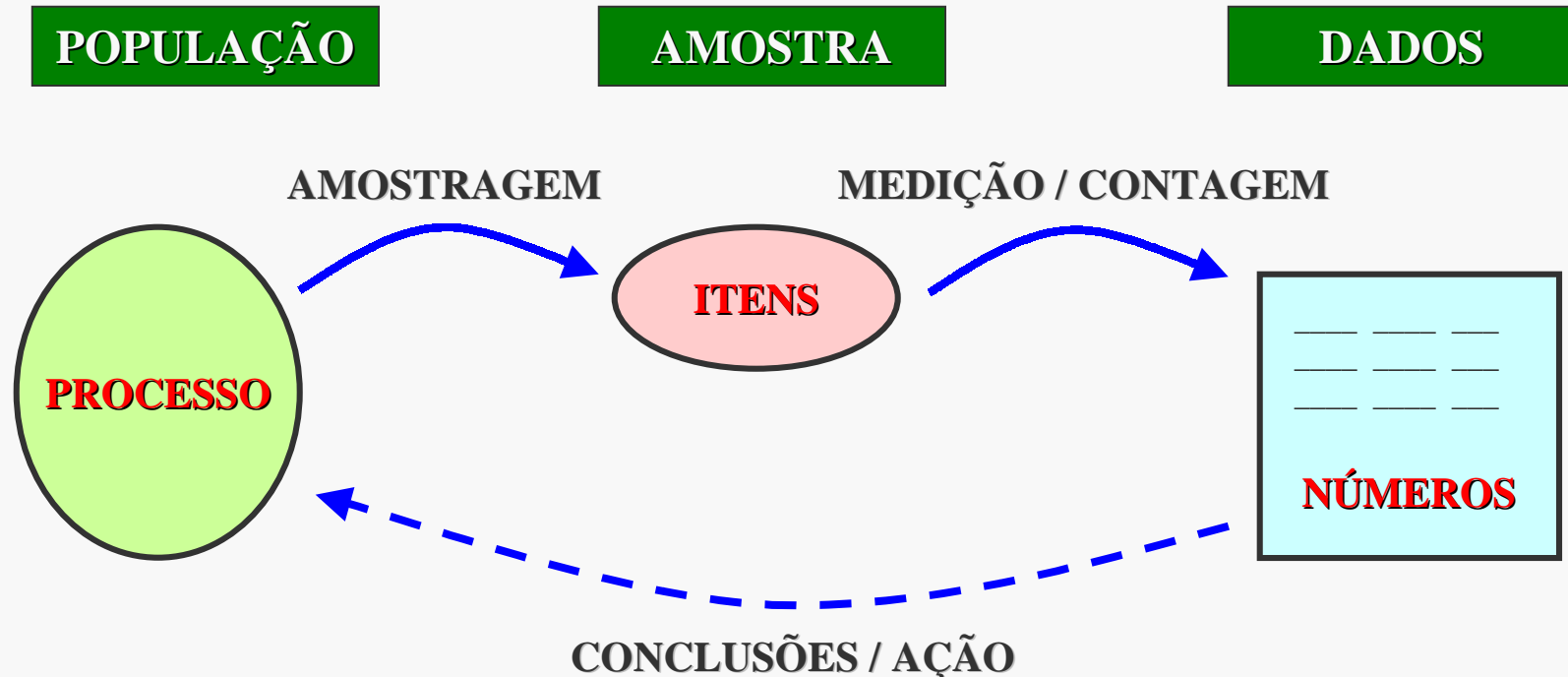
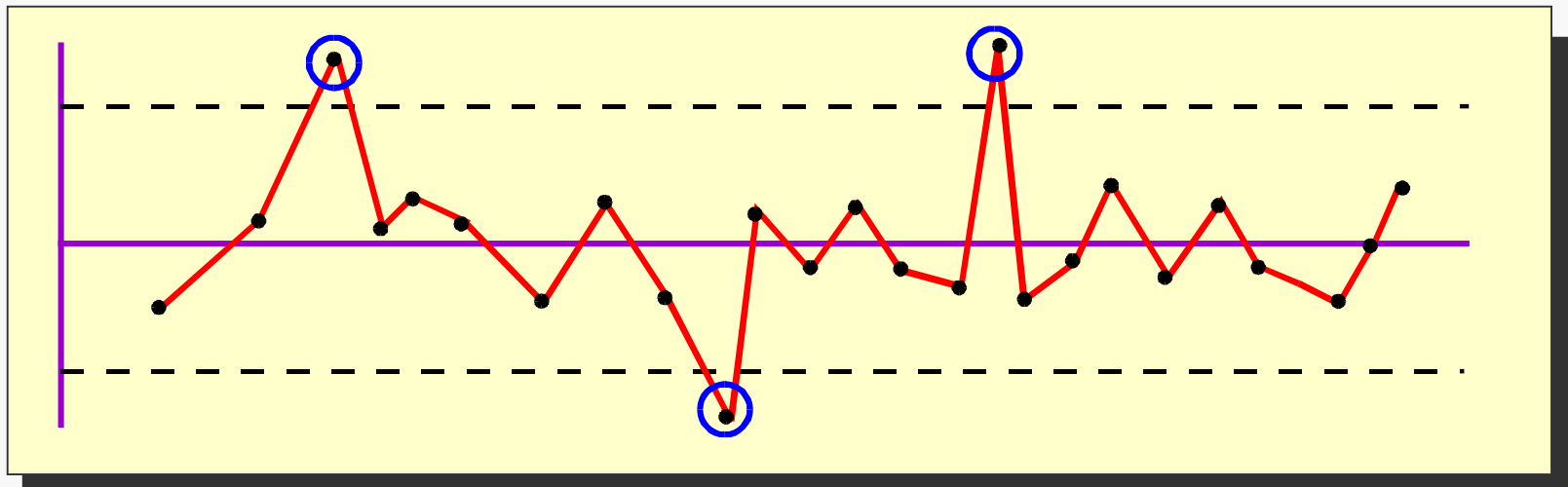


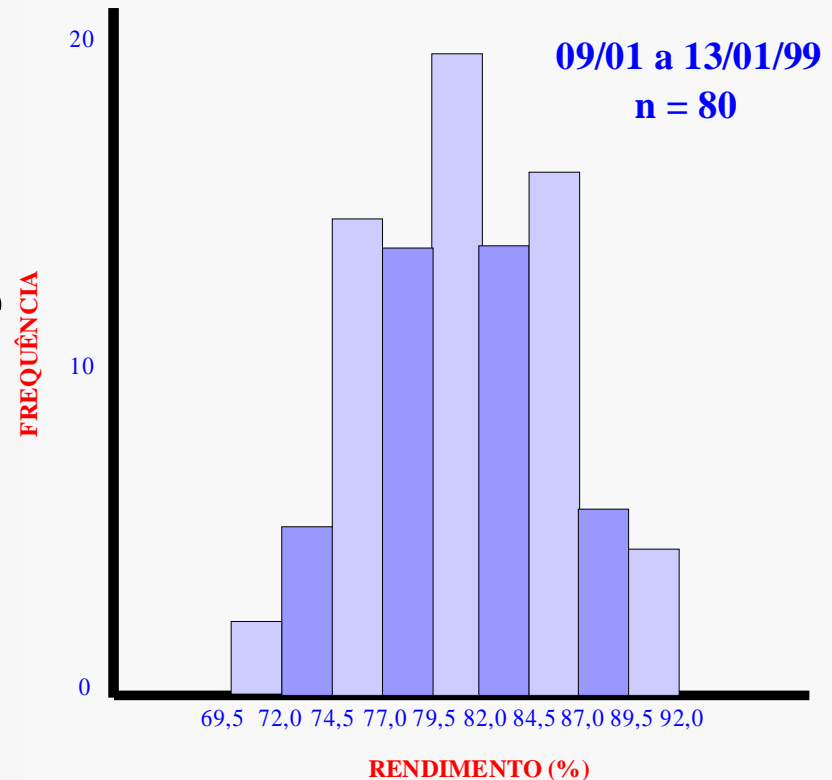
Gráfico seqüencial

- **O QUE É:** um gráfico dos dados ao longo do tempo.
- **OBJETIVO:** é utilizado para pesquisar tendências nos dados ao longo da produção, o que poderia indicar a presença de causas especiais de variação.

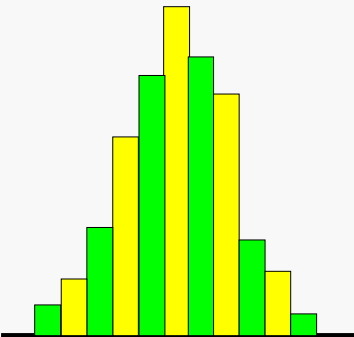
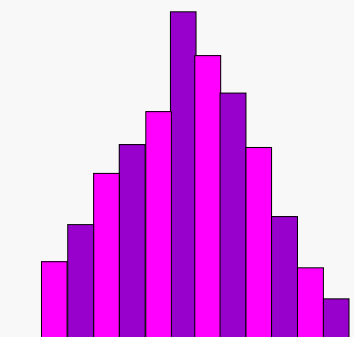
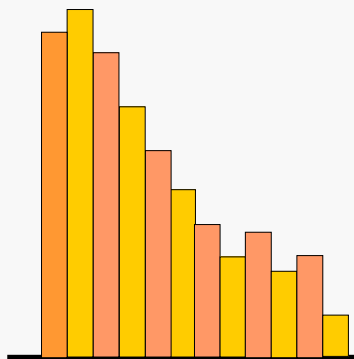
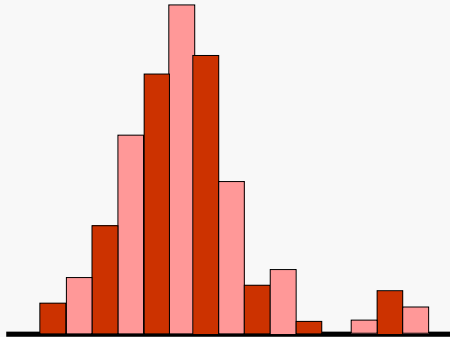
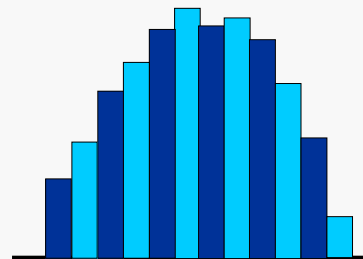
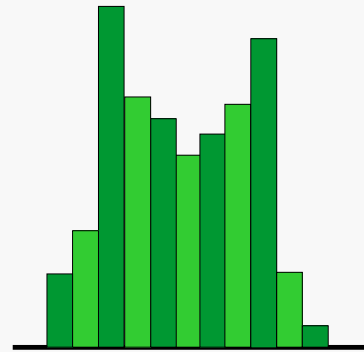


🐸 **O QUE É:** um gráfico de barras que associa os valores de uma característica da qualidade, divididos em pequenos intervalos, com a frequência com que ocorreram na amostra. Ele representa a ***distribuição de frequência dos dados.***

🐸 **OBJETIVO:** resumir um grande conjunto de dados, ressaltando suas características globais, tais como faixa de valores observados, dispersão e padrão (ou forma) de variação.



Tipos de histograma

		
TIPO GERAL	TIPO ASSIMÉTRICO	TIPO DESPENHADEIRO
		
TIPO PICO ISOLADO	TIPO ACHATADO	TIPO PICOS DUPLOS

Medidas de centro e variabilidade

- Usualmente necessitamos conhecer onde se localiza o centro dos dados e quão grande é a variação em torno desse centro.
- Os gráficos são muito úteis para se ter uma visão clara e objetiva dos dados mas, por vezes, torna-se necessário resumir os dados numa **forma numérica**.

Medidas de centro e variabilidade

Média aritmética (média):

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}$$

Amplitude (R):

$$R = \text{maior valor} - \text{menor valor}$$

Variância (s²):

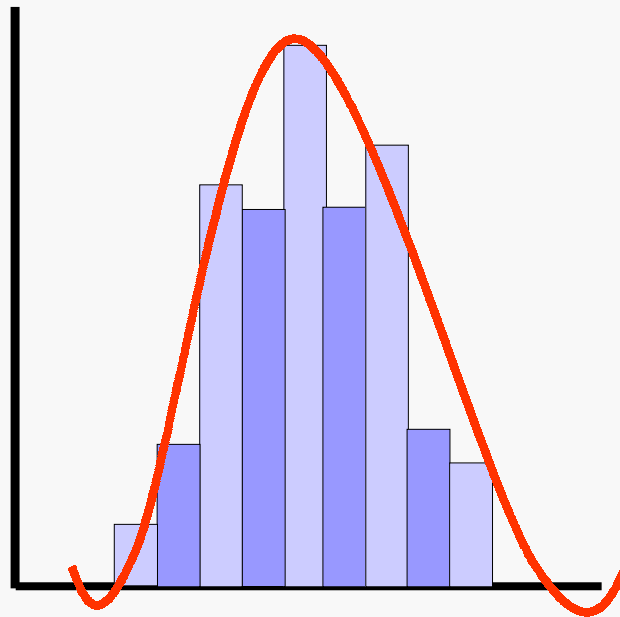
$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x - \bar{x})^2$$

Desvio padrão (s):

$$s = \sqrt{s^2}$$

Distribuição normal

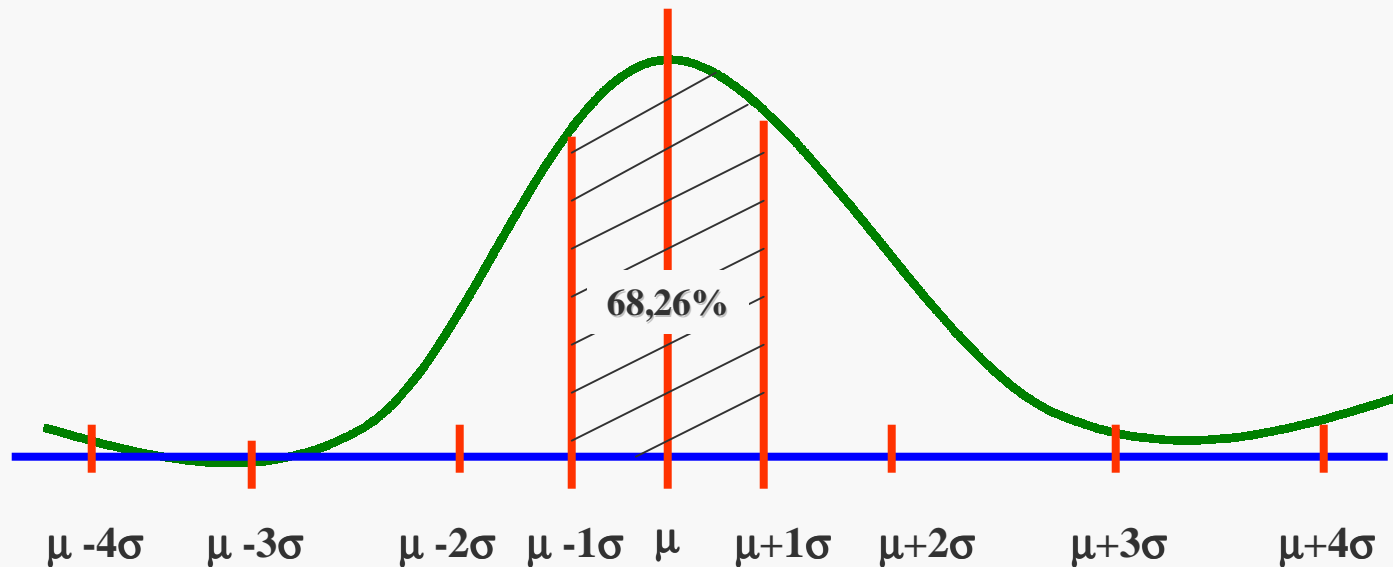
- Um histograma representa a distribuição dos resultados observados em uma amostra; a curva sobreposta sobre o histograma representa a distribuição de todos os resultados do processo, ou seja, da população. Essa curva em forma de sino é conhecida como **distribuição normal**.



Faixa característica de processo

- A faixa característica de processo (FCP), ou faixa padrão, representa a faixa de valores que prevemos para a maioria dos resultados futuros do processo.
- Esperamos que 99,7% dos resultados caiam dentro desse intervalo.
- A amplitude deste intervalo, 6s, quantifica a variação natural do processo.
- $FCP = (\bar{x} - 3s; \bar{x} + 3s) = \bar{x} \pm 3s$

Faixa característica de processo



INTERVALO	PROBABILIDADE	
	DENTRO	FORA
$\mu \pm 1\sigma$	68,26 %	31,74%
$\mu \pm 2\sigma$	95,46%	4,54%
$\mu \pm 3\sigma$	99,73%	0,27%
$\mu \pm 4\sigma$	99,9936%	0,0064%

CAPÍTULO 4

Gráficos de Controle

Cartas de controle para variáveis

- As cartas de controle surgiram por volta de 1920, quando Walter Shewhart desenvolveu um método para análise e ajuste da variação em função do tempo.
 - Ele constatou que um processo pode ser descrito em termos de duas características: a sua centralização e sua dispersão.
 - A centralização do processo pode ser estimada a partir da média de uma ou mais amostras.
 - A dispersão pode ser estimada a partir do desvio padrão ou amplitude de uma série de amostras.
-
- As principais cartas de controle de variáveis são:
 - Cartas das médias e amplitudes (X e R);
 - Cartas das médias e desvios padrão (X e S).

Gráficos de média e amplitude

- Esses gráficos são utilizados em pares, sendo que a função básica da carta de média é controlar a centralização e a da carta de amplitude a dispersão do processo.

Cálculo da média e da amplitude:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

X_1, X_2, \dots São valores individuais de cada amostra
 n é o tamanho da amostra

$$R = X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$$

Cálculo da média das amplitudes e da média do processo:

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_k}{k}$$

Cálculo dos limites de controle

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

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

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R}$$

Gráficos de média e desvio padrão

- Esses gráficos são usados em pares. O desvio padrão da amostra (s) é o melhor indicador da variabilidade do processo, principalmente para amostras de tamanhos maiores.
- As cartas s são utilizadas para substituir as cartas R quando dispomos de recursos computacionais adequados e operadores treinados no uso desses recursos.

Cálculo do desvio padrão (s) das amostras:

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

Cálculo dos limites de controle

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

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

$$LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_3 s$$

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_3 s$$

Gráficos de controle para atributos

- Esses tipos de gráficos apresentam dois tipos de valores:
 - Conforme / Não conforme;
 - Passa / Não Passa;
 - Presença / Ausência.
- As situações que envolvem atributos podem ocorrer em qualquer processo.
- Os dados relativos a atributos são fáceis de se obter, apenas tendo-se que convertê-los em gráficos de controle.
- Esses dados fornecem informações importantes para a gerência, indicando as porcentagens de refugo e retrabalho.

Gráfico p para proporção não conforme

- Este gráfico mede a porcentagem de unidades não conformes de uma amostra em inspeção.
- As unidades, de acordo com o critério estabelecido, são classificadas em conforme e não conforme.

Cálculo da linha média da fração defeituosa:

$$\bar{p} = \frac{np_1 + \dots + np_k}{n_1 + \dots + n_k} = \frac{\sum np}{\sum n}$$

np_1, np_2, \dots, np_k = números de unidades defeituosas
 n_1, n_2, \dots, n_k = tamanhos de cada uma das k amostras

Cálculo dos limites de controle:

$$LSCp = \bar{p} + 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})} / \sqrt{n}$$

$$LSPp = \bar{p} - 3 \sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})} / \sqrt{n}$$

Gráfico np para No. de unidades não conformes

- Este gráfico só pode ser utilizado com tamanho de amostra constante.

Cálculo da linha média:

$$\bar{np} = \frac{np_1 + np_2 + \dots + np_k}{k} = \frac{\sum np}{k}$$

Onde np_1, np_2, \dots são números de unidades não conformes em cada um dos k subgrupos.

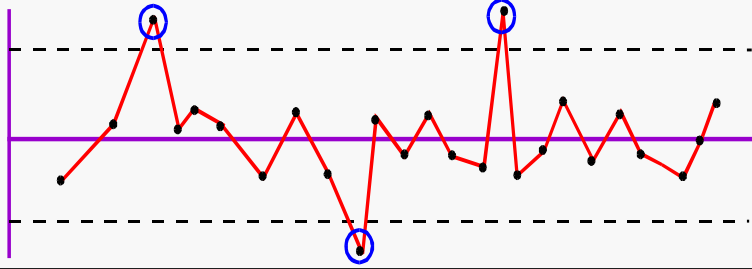
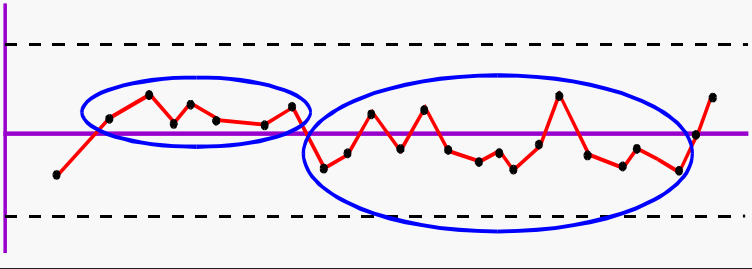
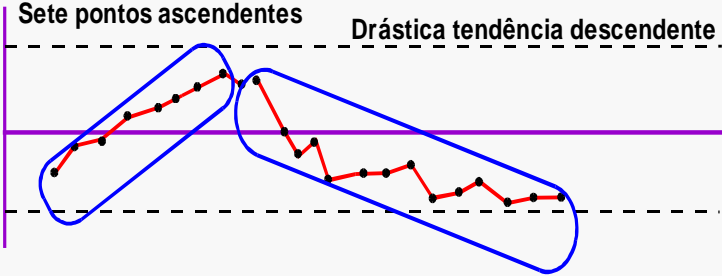
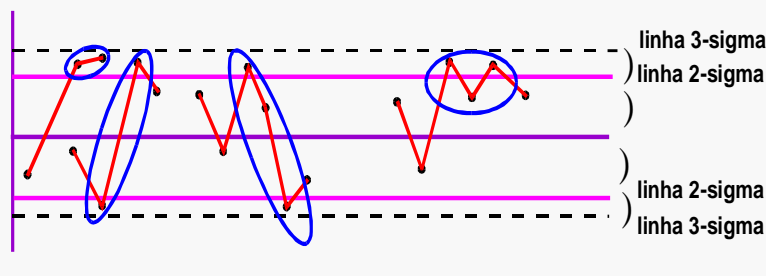
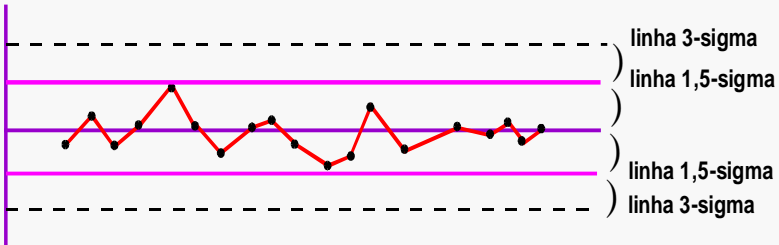
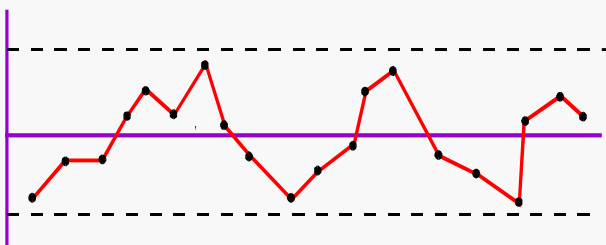
Cálculo dos limites superior e inferior de controle:

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

$$LSC = n\bar{p} - 3\sqrt{\frac{n\bar{p}(1 - \bar{p})}{n}}$$

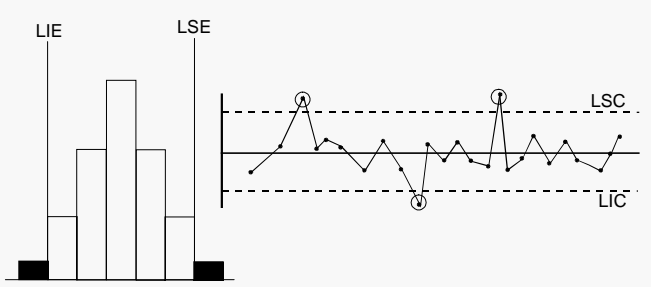
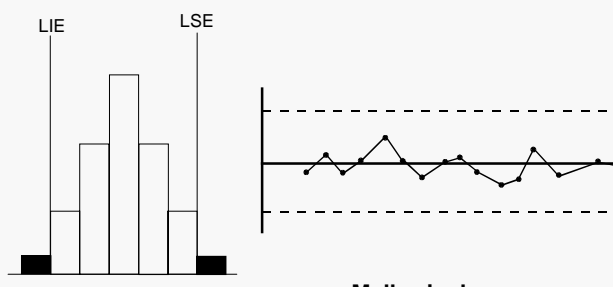
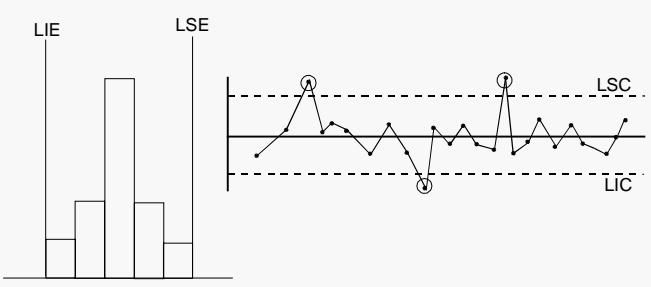
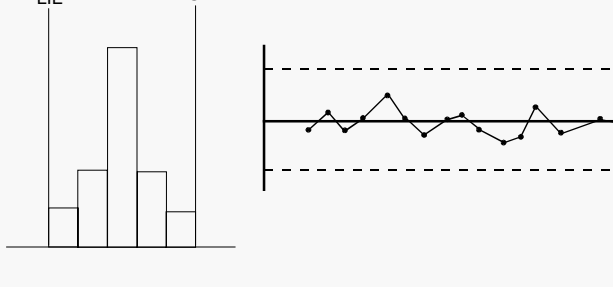
Onde n é o tamanho da amostra.

Aspectos dos gráficos de controle

	
<p>PONTOS FORA DOS LIMITES DE CONTROLE</p>	<p>SEQÜÊNCIA</p>
	
<p>TENDÊNCIA</p>	<p>PROXIMIDADE DOS LIMITES DE CONTROLE</p>
	
<p>PROXIMIDADE DA LINHA CENTRAL</p>	<p>PROCESSO SOB CONTROLE</p>



Limites de controle e limites de especificação

Gráfico de Controle Histograma	Fora de Controle	Sob Controle
<p>Não atende à Especificação</p>	<p>(1)</p> 	<p>(3)</p>  <p>Melhoria do processo</p>
<p>Atende à Especificação</p>	<p>(2)</p> 	<p>(4)</p> 

CAPÍTULO 5

Capacidade de Processo

- Os estudos de capacidade do processo tem por objetivo verificar se um processo estatisticamente estável atende às especificações de engenharia do produto ou se há geração de itens não conformes.
- Esta análise costuma ser efetuada mediante cálculo e interpretação de índices específicos para essa finalidade.

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

- Este índice compara a variabilidade total permissível para as peças (ou tolerância de especificação) com a variabilidade do processo de fabricação (tolerância natural).
- Para o processo ser capaz o valor deste índice não pode ser inferior a 1,33.

$$C_{pk} = \text{Mín} \{ C_{pi}, C_{ps} \}$$

$$C_{pi} = \frac{\mu - LIE}{3 \cdot \sigma}$$

$$C_{ps} = \frac{LSE - \mu}{3 \cdot \sigma}$$

- É recomendado o seu uso quando se estiver trabalhando com especificações unilaterais, ou quando a média do processo não puder ser deslocada (impossibilidade física ou custo excessivo).
- Com este índice, além de se avaliar a variabilidade total permissível para as peças com a tolerância natural de fabricação, verifica-se também a centralização do processo com relação aos limites (superior e inferior) da especificação.
- O valor deste índice deve ser igual ou superior a 1,33 para que o processo seja considerado capaz.

Classificação dos processos segundo o C_p

Nível do Processo	C_p	Proporção de Não Conformidade	Histograma Típico
Capaz	$C_p \geq 1,33$	$p \leq 64 \text{ ppm}$	
Razoável	$1 \leq C_p < 1,33$	$64\text{ppm} < p \leq 0,27\%$	
Incapaz	$C_p < 1$	$P > 0,27\%$	

ANEXOS

Implementação do CEP

❧ **ETAPA 1. *Identificação do projeto piloto.***

- ❧ Nesta etapa é selecionada a área para o início de implementação do CEP. A área escolhida deve apresentar problemas que justifiquem a utilização dos gráficos de controle e os benefícios em termos de aumento de produtividade e redução de custos devem ser levantados.

❧ **ETAPA 2. *Elaboração do fluxograma de processo***

- ❧ Nesta etapa é preparado um fluxograma de processo para a identificação dos pontos e parâmetros críticos do processo onde serão utilizados os gráficos de controle.

🌀 **ETAPA 3. *Definir cronograma do projeto piloto.***

- 🌀 Esta etapa ajuda o coordenador do projeto na tarefa de acompanhamento do andamento e verificação dos resultados. Podem ser adotados documentos para registro das atividades pendentes e resultados obtidos.

🌀 **ETAPA 4. *Identificação e solução de problemas da área piloto.***

- 🌀 Esta é a primeira etapa efetiva da implementação do CEP, nela são levantados os principais problemas da área piloto, os quais com a utilização das ferramentas básicas da qualidade (diagrama de causa-efeito, Pareto) são eliminados.

- ❧ **ETAPA 5. *Seleção do tipo de gráfico de controle a ser utilizado.***
- ❧ Nesta etapa é definido o tipo de gráfico de controle que vai ser utilizado no processo, se a decisão for pela a utilização de gráficos por atributos, deve-se partir para a etapa sete, caso a decisão seja pela utilização de gráficos por variáveis deve ser realizada a etapa 6.

- ❧ **ETAPA 6. *Avaliação da Capacidade do processo.***
- ❧ Esta etapa que indica se o processo já está apto para a utilização dos gráficos de controle, se o processo for capaz deve-se partir para a etapa 6, se o processo não for capaz deve-se voltar a etapa 04
- ❧ **ETAPA 7. *Elaboração de procedimento para uso do gráfico de controle.***
- ❧ Nesta etapa são estabelecidas as responsabilidades das pessoas envolvidas com os gráficos de controle, incluindo as atividades de registro e monitoramento dos gráficos de controle.

Construção do Histograma

🐼 ETAPA 1. *Cálculo da Amplitude (R)*

🐼 $R = \text{Maior Valor} - \text{Menor Valor}$

🐼 Obter o maior valor e o menor valor de cada linha ou coluna e depois com os dados selecionados obter o menor valor e o maior valor da amostra.

🐼 ETAPA 2. *Determinar os intervalos das classes .*

🐼 Os intervalos das classes são determinados de forma que todos os dados sejam incluídos, para isto basta dividir a amplitude da amostra em intervalos de mesmo valor.

Construção do Histograma

- ✿ **ETAPA 3.** *Preparar tabela para registro das frequências de ocorrência.*
- ✿ **ETAPA 4.** *Determinar os limites dos intervalos de classe.*
- ✿ O intervalo de classe deverá ser aberto á esquerda ou a direita.
- ✿ Observar se todos os valores da amostra foram classificados.
- ✿ **ETAPA 5.** *Obter a frequência em cada intervalo de classe.*
- ✿ **ETAPA 6.** *Construir o Histograma*
- ✿ Escala horizontal: Valores da variável; Escala vertical: frequências.

Construção do Gráfico das médias/amplitudes

- ✎ **ETAPA 1. *Coletar os dados***
- ✎ Dividir os dados em sub-grupos (com no máximo 10 dados)

- ✎ **ETAPA 2. *Calcular a média de cada sub-grupo***

- ✎ **ETAPA 3. *Calcular a média das médias.***

- ✎ **ETAPA 4. *Calcular a amplitude de cada sub-grupo.***

- ✎ **ETAPA 5. *Calcular a média das amplitudes.***

- ✎ **ETAPA 6. *Calcular os limites de controle***

- ✎ **ETAPA 7. *Plotar os pontos nos gráficos***

Construção do Gráfico das médias/desvios

- ✎ **ETAPA 1. Coletar os dados**
- ✎ Dividir os dados em sub-grupos (com no máximo 10 dados)

- ✎ **ETAPA 2. Calcular a média de cada sub-grupo**

- ✎ **ETAPA 3. Calcular a média das médias.**

- ✎ **ETAPA 4. Calcular o desvio padrão de cada sub-grupo.**

- ✎ **ETAPA 5. Calcular o desvio padrão médio.**

- ✎ **ETAPA 6. Calcular os limites de controle**

- ✎ **ETAPA 7. Plotar os pontos nos gráficos**

Construção do Gráfico Proporção de não conformes

- 🌀 **ETAPA 1.** *Coletar os dados*
- 🌀 Dividir os dados em sub-grupos (com no máximo 10 dados)

- 🌀 **ETAPA 2.** *Calcular a proporção média.*

- 🌀 **ETAPA 3.** *Calcular os limites de controle*

- 🌀 **ETAPA 4.** *Plotar os pontos nos gráficos*

Construção do Gráfico do número de defeitos por unidade

- 🐼 **ETAPA 1.** *Coletar os dados*
- 🐼 **ETAPA 2.** *Calcular o número médio de defeitos por unidade.*
- 🐼 **ETAPA 3.** *Calcular os limites de controle*
- 🐼 **ETAPA 4.** *Plotar os pontos nos gráficos*