

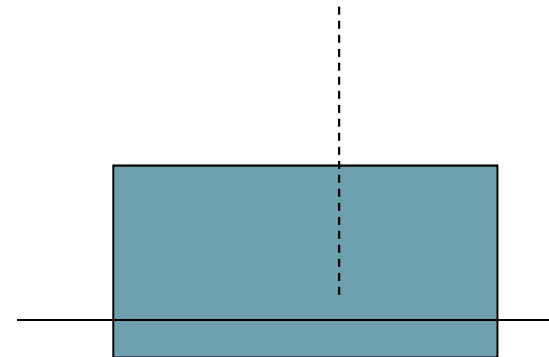
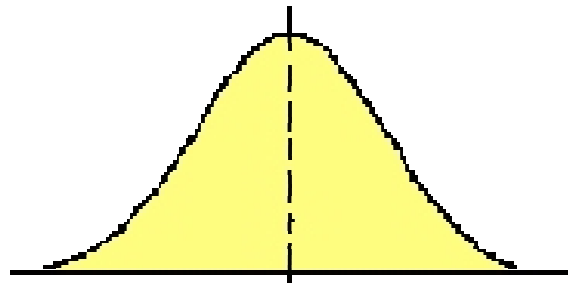
# ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO – MSA – 4. EDIÇÃO

Suelí Fischer Beckert

# CARACTERÍSTICAS ESTATÍSTICAS DE UM EXPERIMENTO

2

- uma medida de posição;
- uma medida de dispersão;
- o tipo de distribuição que está ocorrendo, ou seja, como está acontecendo a dispersão dos valores.



# Distribuição Normal

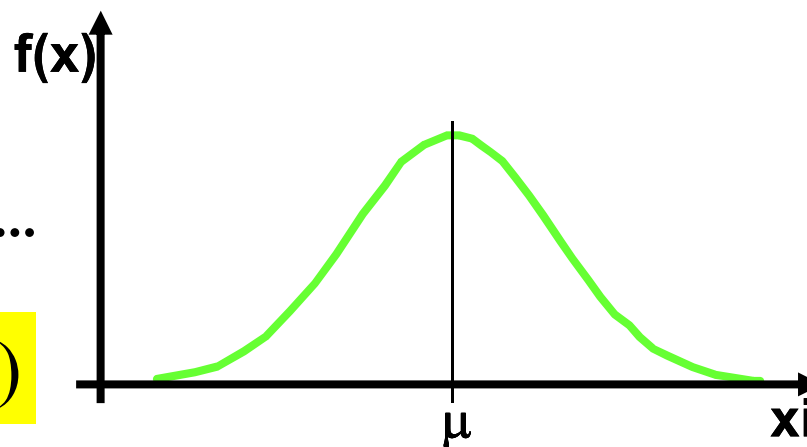
3

- Também conhecida como distribuição de Gauss, tipo sino.
- A distribuição normal tem a seguinte função densidade de probabilidade:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, -\infty < x < \infty$$

- $\mu$  = média da distribuição
- $\sigma$  = desvio-padrão da distribuição
- $\pi = 3,1416\dots$        $e = 2,7\dots$

$N(\mu, \sigma^2)$

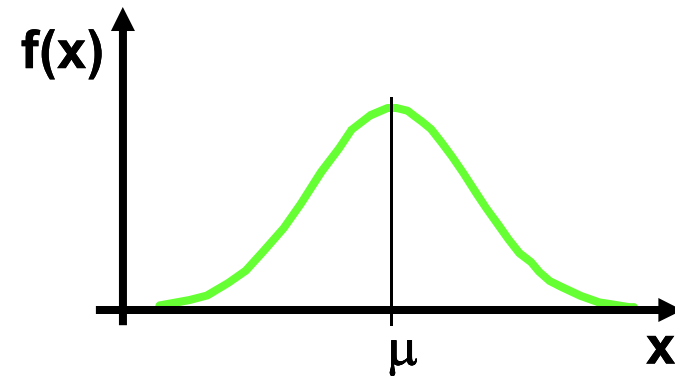


# DISTRIBUIÇÃO NORMAL (Estimativa)

4

## ❖ Média

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$



## ❖ Desvio -padrão

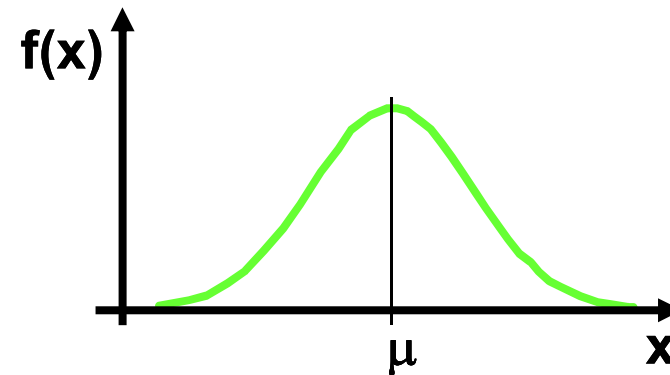
$$s = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

## ❖ Desvio-padrão da média

$$S_{(\bar{x})} = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

# DISTRIBUIÇÃO NORMAL

## PROBABILIDADES USUAIS:



- 68,27% dos casos estão incluídos entre Média  $\pm 1 \sigma$ ;
- 95% dos casos estão incluídos entre Média  $\pm 1,96 \sigma$ ;
- 95,45% dos casos estão incluídos entre Média  $\pm 2 \sigma$ ;
- 99% dos casos estão incluídos entre Média  $\pm 2,575 \sigma$ ;
- 99,73% dos casos estão incluídos entre Média  $\pm 3 \sigma$ .

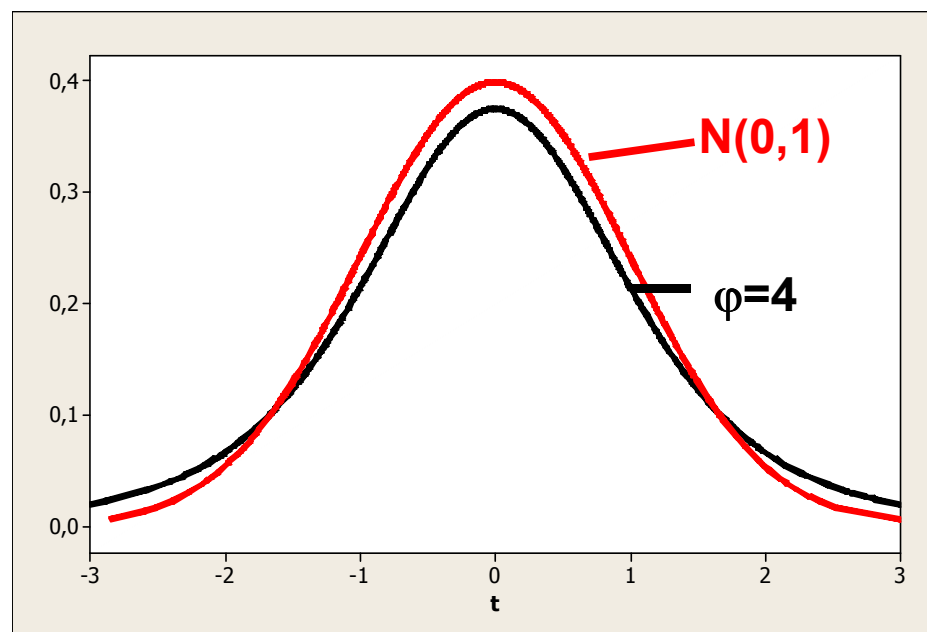
# Distribuição t

6

- Modelo de distribuição contínua que se assemelha à distribuição normal padrão  $N(0,1)$ . É utilizada para inferências estatísticas, particularmente, quando se tem amostras com tamanhos inferiores a 30 elementos.
- A distribuição t possui um parâmetro denominado grau de liberdade ( $\varphi$ ), sendo:

$$\mu = 0$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\varphi}{\varphi - 2}} \quad (\varphi > 2)$$



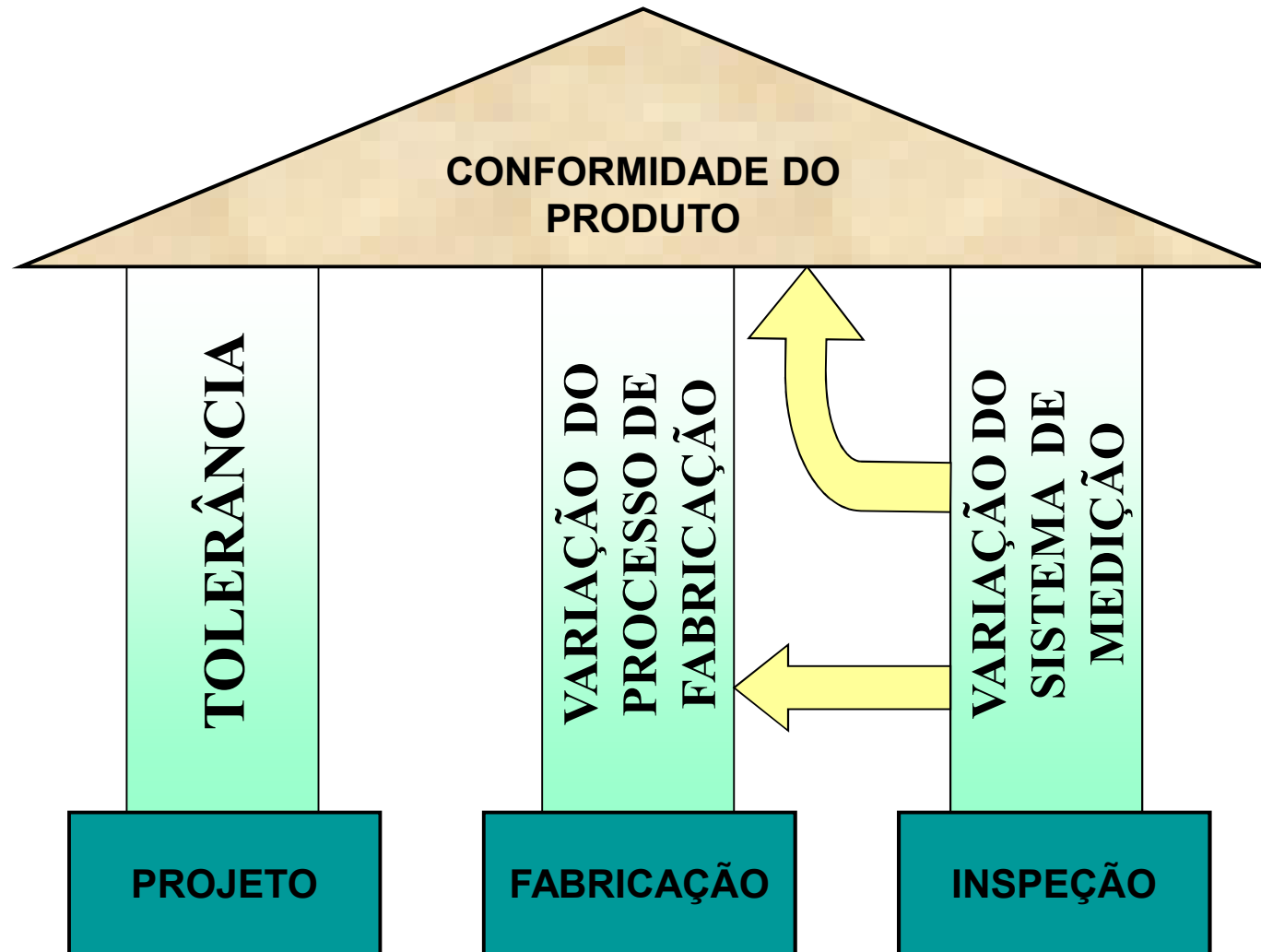
# Características da distribuição t

7

- A distribuição t de Student varia de acordo com os graus de liberdade.
- A curva da distribuição t de Student tem a mesma forma em sino da distribuição Normal, mas reflete a maior variabilidade (com curvas mais alargadas), que é de esperar em amostras pequenas.
- A distribuição t de Student tem valor médio zero (tal como a distribuição Normal padrão).
- O desvio padrão da distribuição t de Student varia de acordo com os graus de liberdade e é maior do que 1 (o que não acontece com a distribuição Normal padrão).
- Quanto mais graus de liberdade, mais a distribuição t de Student se aproxima da distribuição Normal.

# CONFORMIDADE DA FABRICAÇÃO E DO PRODUTO

8





# Dispositivo X Sistema de Medição

9

- Dispositivo de medição é qualquer aparato utilizado para obter as medições.
- Sistema de medição é o conjunto de dispositivos de medição, padrões, operações, métodos, dispositivos de fixação, software, pessoal, ambiente e premissas usadas para quantificar a unidade de medição; é o processo completo utilizado para realizar as medições.

# Manual MSA – 4ª. Edição

10

- Tem como objetivo apresentar diretrizes para avaliar a qualidade de um sistema de medição;
- Seu principal foco é direcionado aos sistemas de medição que permitem replicar leituras em cada peça;
- Os métodos de análise dos sistemas de medição não contidos no Manual MSA devem ser aprovados pelo cliente.



First Edition, October 1990 • Second Edition, February 1995; Second Printing, June 1998

Third Edition, March 2002; Second Printing, May 2003; Fourth Edition, June 2010

Copyright © 1990, © 1995, © 2002, © 2010 Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation

ISBN#: 978-1-60-534211-5

# EFEITO nas decisões sobre o produto

11



- I = peças ruins serão sempre chamadas de ruins
- II = decisões erradas possivelmente podem ser tomadas;
- III = peças boas serão sempre chamadas de boas

# EFEITO nas decisões sobre a fabricação

12

- Para o controle da fabricação, as seguintes necessidades devem ser satisfeitas:
  - ▣ controle estatístico;
  - ▣ ajuste ao objetivo;
  - ▣ variabilidade aceitável.
  
- O impacto negativo sobre as decisões do processo são:
  - ▣ chamar de causa especial uma causa comum;
  - ▣ chamar de causa comum uma causa especial.

# Sistema de Calibração

13

Calibração (VIM-2008):

- Operação que estabelece, numa primeira etapa e sob condições especificadas, uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as indicações correspondentes com as incertezas associadas.
- Verificação (VIM-2008):
- Provimento de evidência objetiva de que um dado item atende a requisitos especificados.

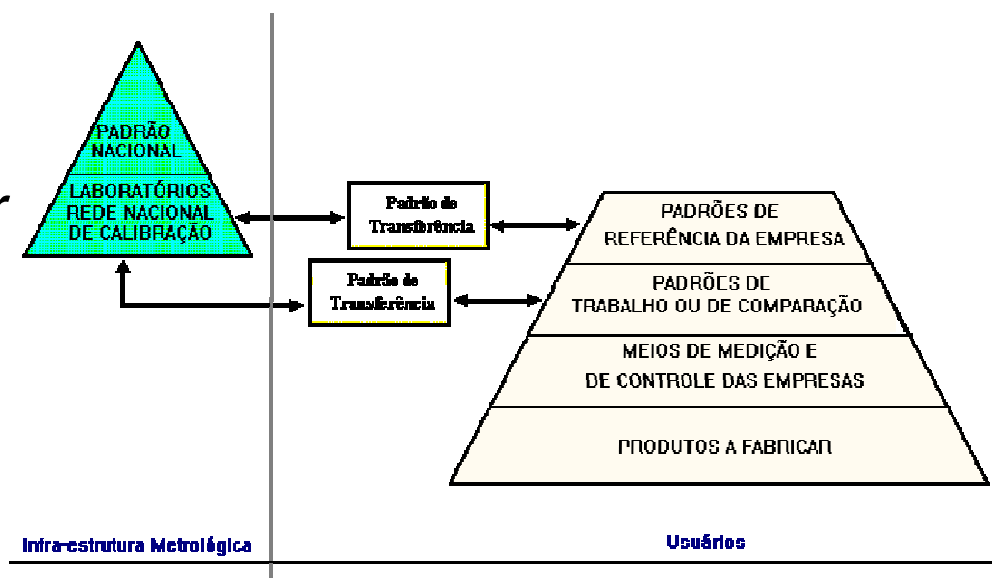


# Sistema de calibração

14

Rastreabilidade metrológica (VIM-2008):

- Propriedade de um resultado de medição pela qual tal resultado pode ser relacionado a uma referência através de uma cadeia ininterrupta e documentada de calibrações, cada uma contribuindo para a incerteza de medição.



# Sistema de Calibração

15

- Cada evento de calibração inclui todos os elementos necessários: padrões, equipamento a ser verificado, procedimentos e métodos de calibração, registro e pessoal qualificado.
- A organização pode ter um laboratório interno de calibração que controla e mantém o programa de calibração. Deve ser mantido o escopo do laboratório com as lista de calibrações específicas que é capaz de realizar, como também o equipamento e métodos/procedimento usados para realizar a calibração.

# Sistema de Calibração

16

- O sistema de calibração é parte do sistema de gestão da qualidade do laboratório e por isso deve estar incluso nas auditorias internas.
- Programas de garantia da qualidade das medições podem ser usados para verificar a aceitação do procedimento de medição utilizado na calibração. Ver ISO 10012.
- Quando as calibrações são realizadas por laboratórios externos, o serviço pode ser verificado através da acreditação na ISO/IEC 17025. Quando um laboratório qualificado não estiver disponível, o serviço de calibração pode ser realizado pelo fabricante.



# AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE MEDIÇÃO COM VARIÁVEL NUMÉRICA



# QUESTÕES RELATIVAS À MEDIÇÃO

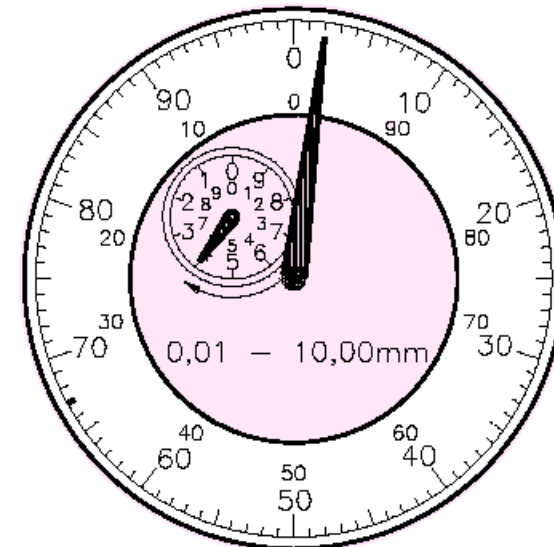
18

- O sistema de medição deve demonstrar adequada sensibilidade.
- O sistema de medição deve ser estável;
- As propriedades estatísticas (erros) devem ser consistentes ao longo do intervalo de medição esperado e adequadas ao propósito da medição (controle do produto e/ou controle do processo).

# Análise da Discriminação do instrumento de medição

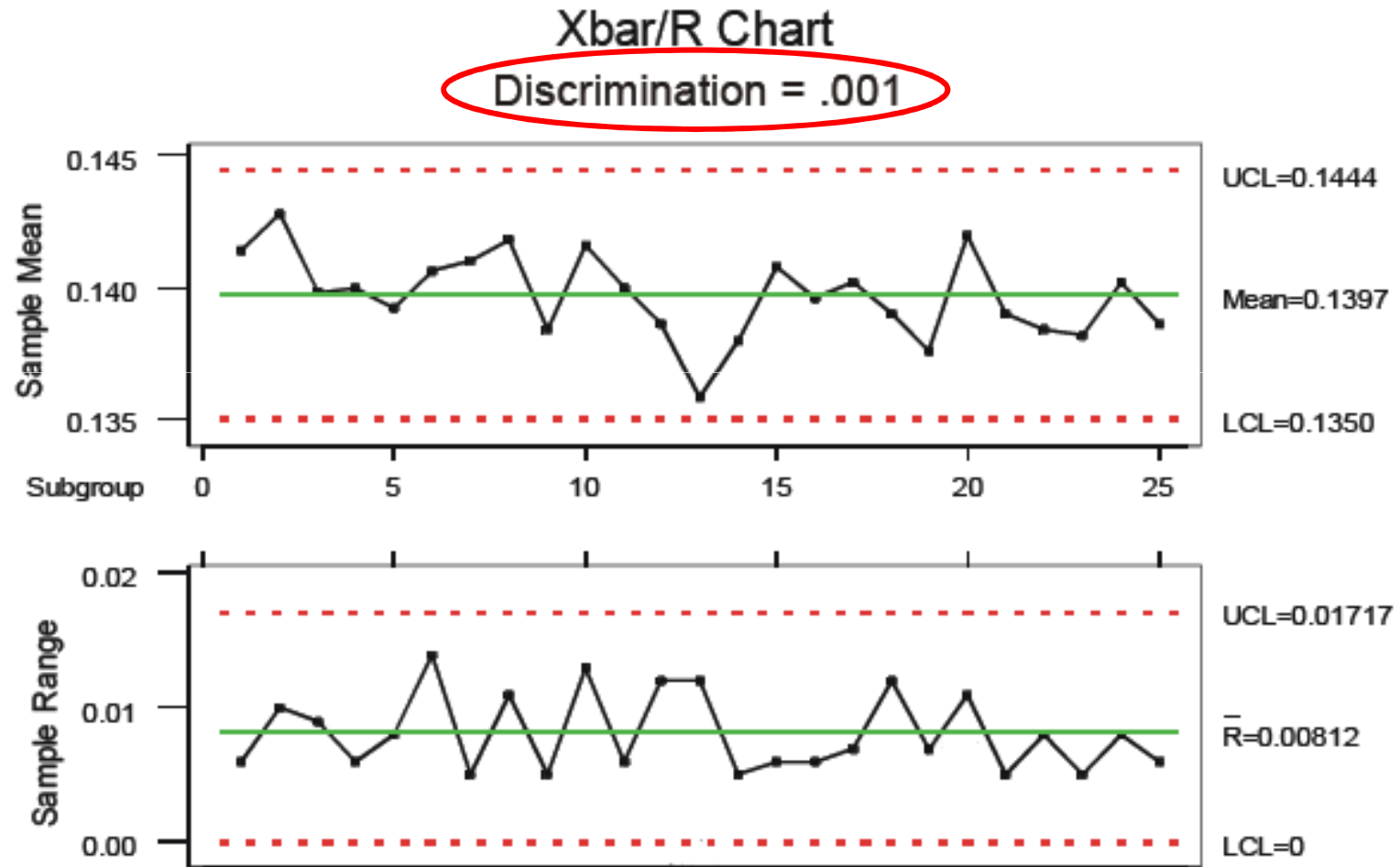
19

- A discriminação é quantidade de mudança com relação a um valor de referência que um instrumento pode detectar. A discriminação é também denominada resolução.
- A medida desta capacidade é tipicamente o valor da menor graduação na escala do instrumento.
- A regra prática é que a discriminação do instrumento deve ser pelo menos um décimo ( $1/10$ ) do intervalo a ser medido.



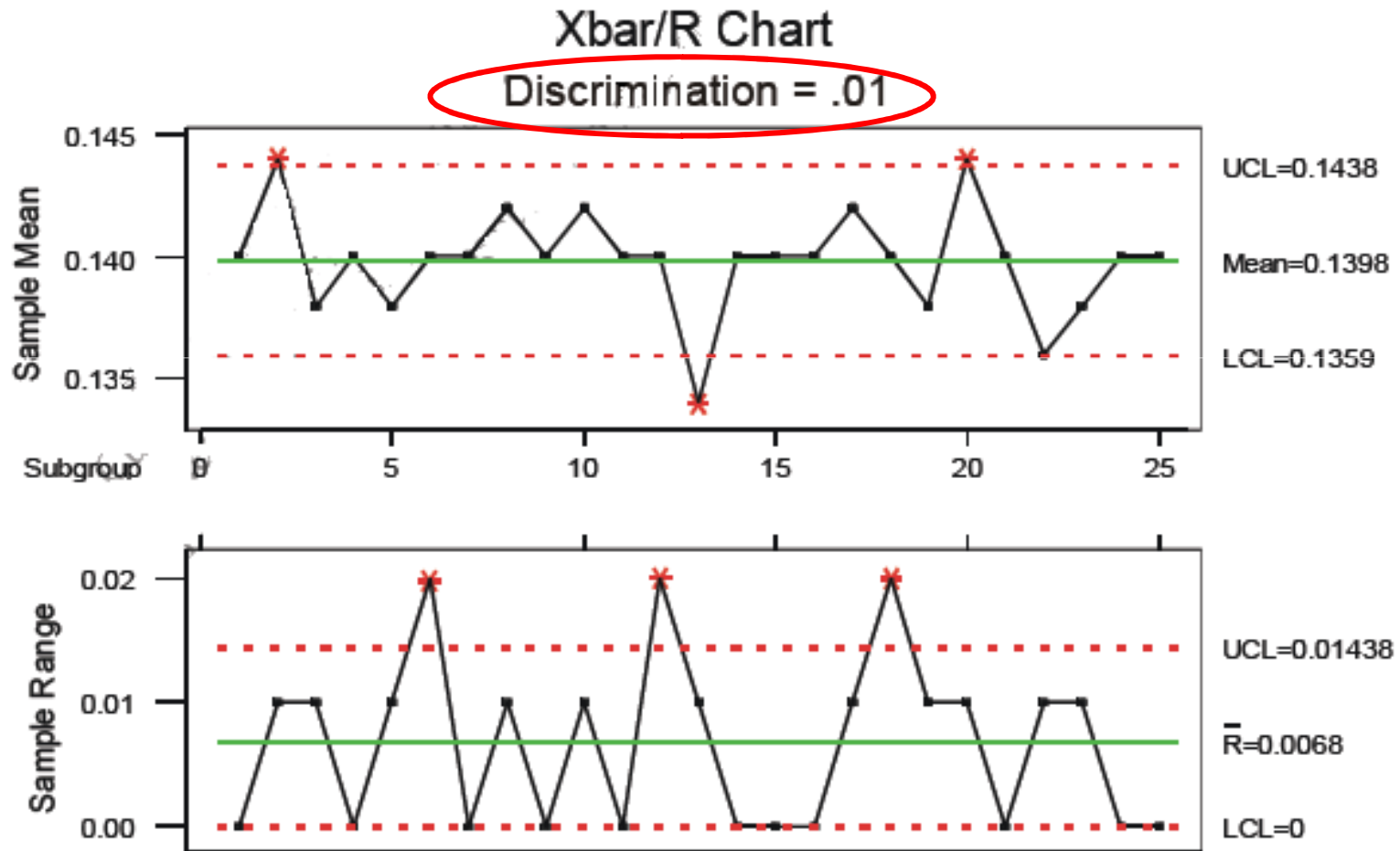
# Impacto da resolução do instrumento

20



# Impacto da resolução do instrumento

21

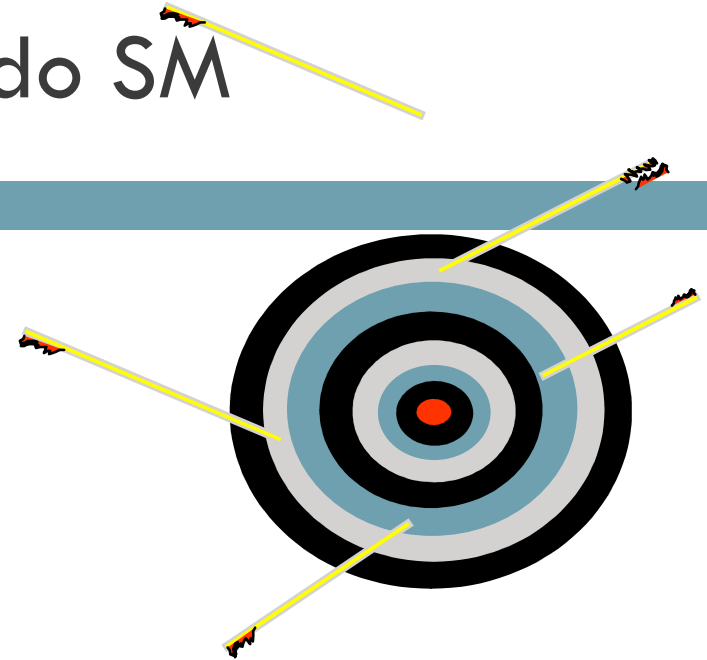


# Propriedades estatísticas do SM

22

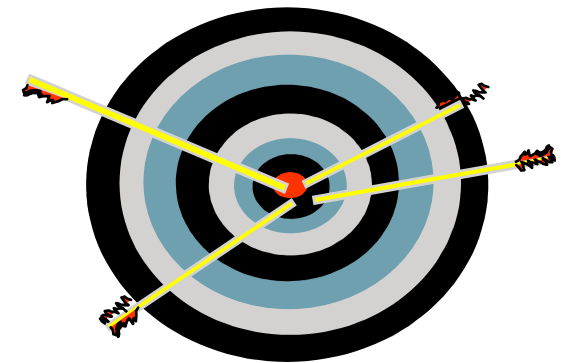
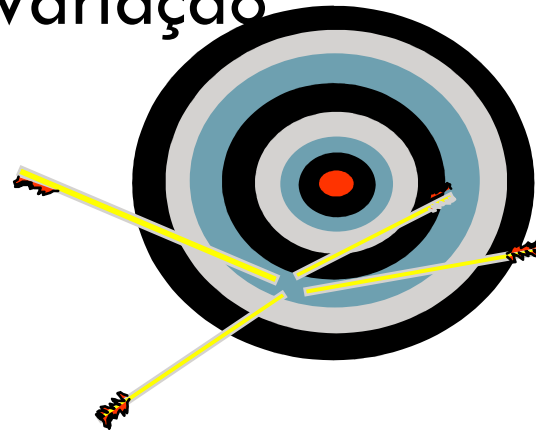
## □ Características de Posição

- Tendência
- Linearidade
- Estabilidade



## □ Características de Variação

- Repetitividade
- Reprodutibilidade



# Preparação para a avaliação do SM

23

- Definir o número de avaliadores, número de peças e o número de replicações. Considerar os seguintes fatores:
  - ▣ criticidade da característica: quanto maior a criticidade, maior o número de peças e replicações são requeridos;
  - ▣ tipo da peça: peças pesadas irão exigir um número menor de peças;
  - ▣ influência do avaliador: quando não há influência do operador, é suficiente um avaliador para avaliação da variabilidade do processo de medição.
- Selecionar os avaliadores que normalmente realizam as medições.

# Preparação para a avaliação do SM

24

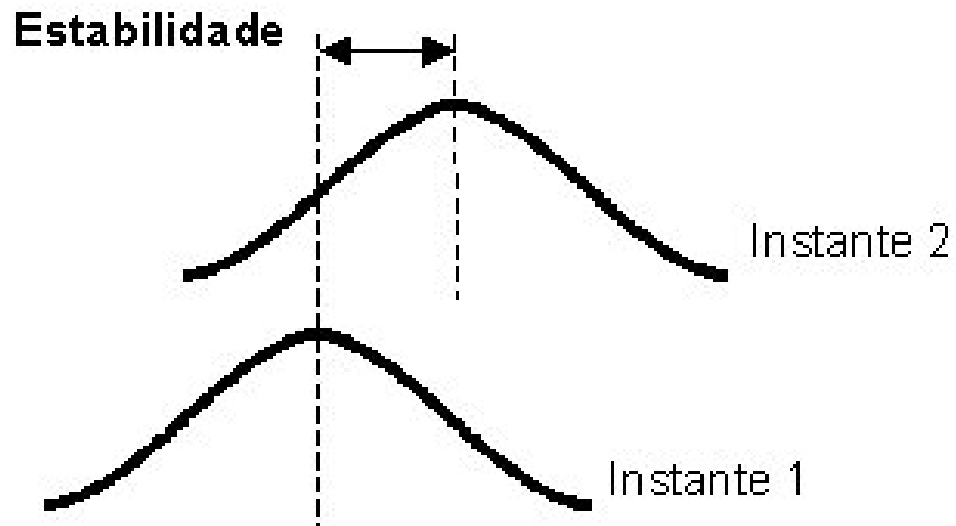
- Selecionar peças que representem a variação do processo de fabricação:
  - ▣ A variação do processo de fabricação pode ser obtido em estudos de capacidade específicos.
  - ▣ Se as peças selecionadas representarem a amplitude do processo de fabricação, um parâmetro VT - variação total, é obtido no próprio método MSA. Caso as peças não representarem a variação do processo de fabricação, o parâmetro VT deve ser ignorado;
- Definir que propriedades estatísticas devem ser avaliadas;
- Garantir que o processo de medição está corretamente definido e aplicado pelos avaliadores;
- Realizar a coleta de dados aleatoriamente.



# AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE

25

- Estabilidade é a variação total nas medições obtidas com um sistema de medição aplicado sobre um mesmo padrão, quando medindo uma única característica no decorrer de um período de tempo prolongado. Isto é, estabilidade é a tendência ao longo do tempo.



# AValiação DA ESTABILIDADE - $\bar{x}$ & $R$

26

- Obter um padrão e seu VC. Se não houve padrão, selecionar uma peça da produção que se situe no meio do intervalo de medição, considerando-a como peça-padrão. Neste caso, não é necessário o VC para acompanhar a estabilidade;
- Medir a peça-padrão periodicamente de 3 a 5 vezes;
- Plotar os dados numa carta de controle  $\bar{x}$  &  $R$  ;
- Analisar graficamente os resultados.

Para a média:

$$LIC = \bar{x} - A_2 \bar{R}$$

$$LSC = \bar{x} + A_2 \bar{R}$$

Para a amplitude:

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

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

# AValiação DA ESTABILIDADE - $x_i$ & $R_m$

27

- Obter um padrão e seu VC. Se não houve padrão, selecionar uma peça da produção que se situe no meio do intervalo de medição, considerando-a como peça-padrão. Neste caso, não é necessário o VC para acompanhar a estabilidade;
- Medir a peça-padrão periodicamente
- Plotar os dados numa carta de controle  $x_i$  &  $R_m$  ;
- Analisar graficamente os resultados.

Para as medidas:

$$LIC = \bar{x} - 2,659 \cdot \overline{R}_m$$

$$LSC = \bar{x} + 2,659 \cdot \overline{R}_m$$

Para as amplitudes:

$$LIC = 0$$

$$LSC = 3,267 \cdot \overline{R}_m$$

# Tabela com os coeficientes

28

<b>Número de replicações</b>	<b>A<sub>2</sub></b>	<b>D<sub>3</sub></b>	<b>D<sub>4</sub></b>
2	1,880	0	3,267
3	1,023	0	2,575
4	0,729	0	2,282
5	0,577	0	2,114
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

# AValiação da Estabilidade

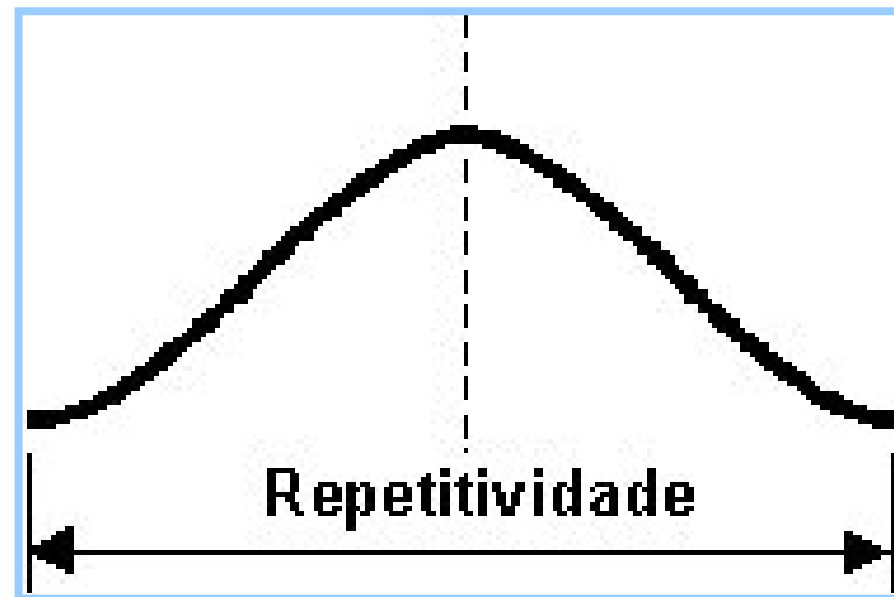
29

- As causas possíveis da falta de estabilidade são:
  - Instrumento necessita de calibração;
  - Desgaste do instrumento ou dispositivo de fixação;
  - Manutenção precária;
  - Desgaste no padrão;
  - Uso inapropriado do padrão;
  - Instrumento de baixa qualidade;
  - Projeto do instrumento não robusto;
  - Método de medição diferente;
  - Variação nas condições ambientais;
  - Etc...

# AValiação DA REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE

30

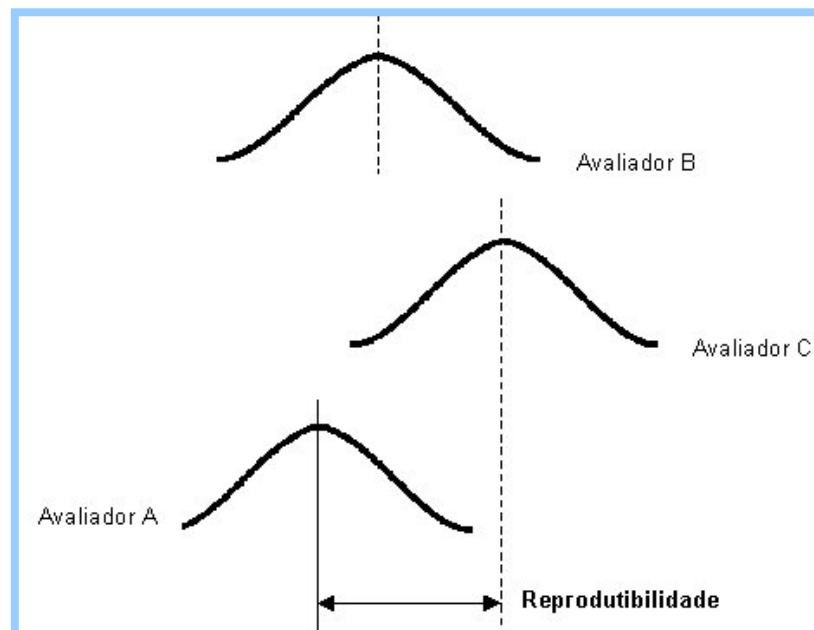
- Repetitividade: é a variação nas medidas obtidas com um instrumento de medição, quando usado várias vezes por um mesmo avaliador, medindo a mesma característica na mesma peça.



# AValiação DA REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE

31

- **Reprodutibilidade:** é a variação na média das medidas feitas por diferentes avaliadores utilizando o mesmo instrumento de medição medindo mesma característica nas mesmas peças.



# AVALIAÇÃO DA REPETITIVIDADE E REPRODUTIBILIDADE

32

- **R&R:** é uma estimativa da variação combinada da repetitividade e da reprodutibilidade. Isto é, o R&R é a variância resultante da soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas.

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{repe}^2 + \sigma_{repro}^2$$

$$(R \& R)^2 = (VE)^2 + (VA)^2$$

- **Métodos de avaliação do R&R:**
  - Amplitude;
  - Média e amplitude;
  - Análise de Variância (ANOVA)



# AValiação da Repetitividade e Reprodutibilidade

33

- MÉTODo DA MÉDIA E DA AMPLITUDE
- Selecionar, no mínimo 10 peças ( $n \geq 10$ ) que representam a atual ou esperada variação do processo de fabricação;
- Selecionar 3 avaliadores ( $k = 3$ ) que normalmente executam a medição;
- Conduzir as medições aleatoriamente;
- Realizar 2 ou 3 replicações ( $r = 2$  ou  $r = 3$ );
- Realizar os cálculos;
- Apresentar graficamente as médias e as amplitudes.

# R&R - Método da Média e Amplitude

34

- Para cada avaliador, calcular a média sobre todas as peças  $\overline{x_i}$  e a amplitude média  $\overline{R_i}$
- Calcular a média por peça  $\overline{x_j}$  e a média total das peças  $\overline{x_p}$  ;
- Calcular o desvio-padrão da **repetitividade** VE:

$$VE = \sigma_{VE} = \frac{\overline{R}}{d_2^*}$$

- $d_2^*$  é obtido da Tabela 1;
  - (m = número de replicações e g= k\*n, sendo k = número de avaliadores e n o número de peças);
  - $\overline{R}$  = é a média das amplitudes médias entre os avaliadores.
- 
- Calcular o percentual da repetitividade:

$$\%VE = 100 * \frac{VE}{VT}$$

# R&R - Método da Média e Amplitude

35

- Calcular o desvio-padrão da **reprodutibilidade VA**:

$$VA = \sigma_{VA} = \sqrt{\left(\frac{\overline{x_{DIFF}}}{d_2^*}\right)^2 - \frac{(VE)^2}{n * r}}$$

- $d_2^*$  é obtido da Tabela 1;
  - ( $m$  = número de avaliadores e  $g = 1$ , sendo  $r$  = número de replicações e  $n$  o número de peças) ;
  - $\overline{x_{DIFF}}$  = é obtido subtraindo a menor média dos avaliadores da maior média.
- Calcular o percentual da reprodutibilidade:

$$\%VA = 100 * \frac{VA}{VT}$$

# R&R - Método da Média e Amplitude

36

- Calcular o desvio-padrão da variação do sistema de medição R&R:

$$R \& R = \sigma_{R\&R} = \sqrt{(VE)^2 + (VA)^2}$$

- Calcular o percentual de R&R:

$$\%R \& R = 100 * \frac{R \& R}{VT}$$

# R&R - Método da média e da amplitude

37

- Variação total (VT): corresponde a variação total do processo de fabricação, na qual já está inclusa a variação dos sistema de medição.
- Existem 4 possibilidades para determinar a variação total:
- Usando a variação do processo, decorrente das peças utilizadas no estudo de R&R (somente utilizar esta opção quando realmente as peças forem representativas):
  - ▣ Calcular o desvio-padrão da variação da peça VP:

$$VP = \sigma_p = \frac{Rp}{d_2^*} \quad \Rightarrow \quad VT = \sqrt{VP^2 + R\&R^2}$$

- ▣  $d_2^*$  é obtido da Tabela 1,
- ▣  $m$  = número de peças e  $g = 1$
- ▣  $Rp$  é a amplitude das médias amostrais obtidas para as peças

# R&R - Método da média e da amplitude

38

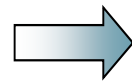
Existem 4 possibilidades para determinar a variação total:

- Usando informação histórica da variação do processo de fabricação. Para utilizar esta informação, é necessário que o processo esteja sob controle estatístico:

$$VT = \frac{\textit{Variação}_{\textit{ processo}}}{6}$$

- Usando o valor alvo de Pp (Ppk):

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



$$VT = \frac{LSE - LIE}{6Pp}$$

# R&R - Método da média e da amplitude

39

- Existem 4 possibilidades para determinar a variação total:
  - ▣ Usando a tolerância:

$$VT = \frac{LSE - LIE}{6} = \frac{T}{6}$$

- Determinar o número de categorias distintas (ndc):

$$ndc = 1,41 * \frac{VP}{R\&R}$$

$$= 1,41 * \frac{\sqrt{(VT)^2 - (R\&R)^2}}{R\&R}$$

⇒ ndc ≥ 5

# R&R - Método da Média e Amplitude

40

- Construir o gráfico das amplitudes dos avaliadores:

$$LIC = D_3 * \bar{R} \qquad LSC = D_4 * \bar{R}$$

- Realizar a análise do gráfico:
  - ▣ Os pontos apresentados na carta de controle devem estar todos sob controle;
  - ▣ As sequências das amplitudes obtidas pelos avaliadores devem ser distintas;
  - ▣ Quando a carta de amplitudes mostrar somente um, dois, ou três valores possíveis para a amplitude (dentro dos limites de controle); ou se mostrar quatro valores possíveis para a amplitude e mais de 1/4 de valores nulos, as medições estarão sendo feitas com a discriminação inadequada.



# R&R - Método da Média e Amplitude

41

- Construir o gráfico das médias dos avaliadores:

$$LIC = \bar{x}_p - A_2 \bar{R} \qquad LSC = \bar{x}_p + A_2 \bar{R}$$

- Realizar a análise do gráfico:
  - ▣ No mínimo 50% das médias individuais dos avaliadores devem estar fora dos limites de controle.

# Critérios de aceitação para R&R

42

- Considerando que:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_{\text{Processo}}^2 + \sigma_{\text{MSA}}^2}$$

- quando o CEP está sendo aplicado para controlar o processo ou coletar dados, e o gráfico de controle indicar que o processo está sob controle estatístico (estável) e a variabilidade total é aceitável, o sistema de medição pode ser considerado aceitável para o uso e não requer uma avaliação em separado. Se uma não conformidade for detectada, é necessário primeiro analisar o sistema de medição.

# Critérios de aceitação para R&R

43

R&R	Decisão	Comentários
Abaixo de 10%	Sistema de medição geralmente considerado aceitável	Recomendável, especialmente útil para ordenar ou classificar peças ou quando for requerido um controle apertado do processo.
Entre 10% e 30%	Poder ser aceito para algumas aplicações	A decisão deve ser baseada, por exemplo, na importância da aplicação da medição, custo do dispositivo de medição, custo do retrabalho ou reparo. <b>O sistema de medição deve ser aprovado pelo cliente.</b>
Acima de 30%	Considerado inaceitável	Todos os esforços devem ser tomados para melhorar o sistema de medição.

# AValiação da Repetitividade e da Reprodutibilidade

44

As causas possíveis da falta de repetitividade:

- Variação dentro da peça: forma, posição, acabamento superficial;
- Variação dentro do instrumento: desgaste, dispositivo de fixação;
- Variação dentro do processo: variação no ajuste, na técnica operacional, na fixação da peça;
- Variação dentro do avaliador: técnica, posição, falta de experiência;
- Dispositivo errado para a aplicação.

# AValiação da Repetitividade e da Reprodutibilidade

45

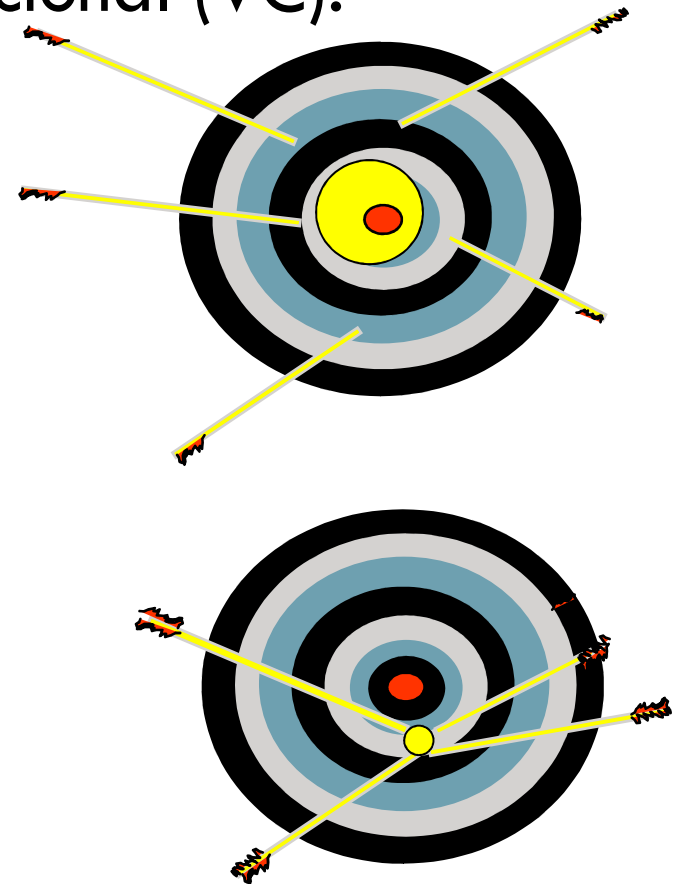
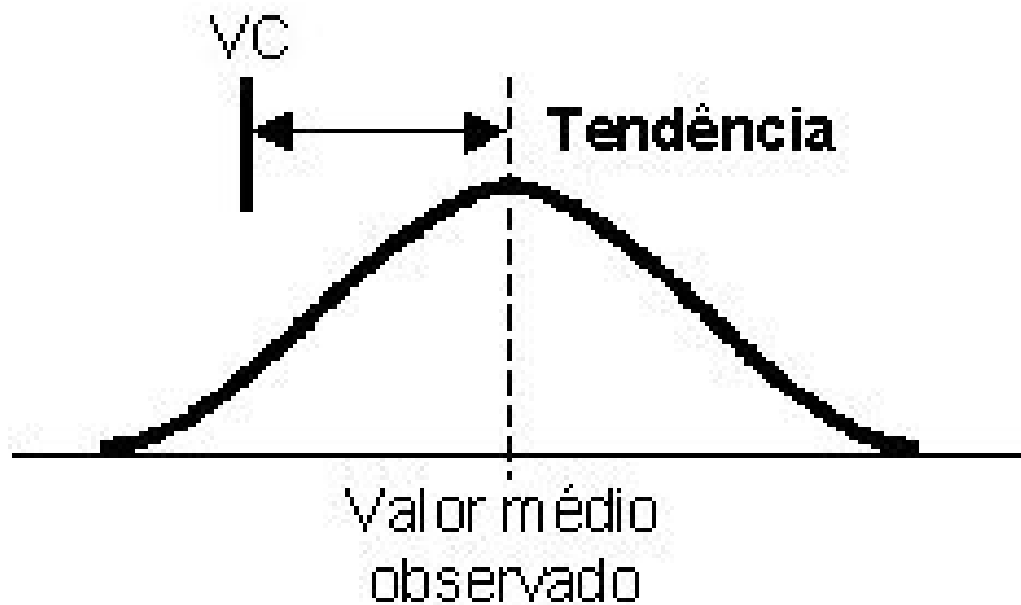
As causas possíveis da falta de reprodutibilidade:

- Variação devido as peças: as posições de medição foram diferentes;
- Variação no procedimento: a sistemática de medição não foi a mesma;
- Variação entre avaliadores: habilidades e resolução diferenciada;
- Variação entre ambientes: as condições ambientais eram diferentes quando cada avaliador realizou as medições.

# AVALIAÇÃO DA TENDÊNCIA – AMOSTRA INDEPENDENTE

46

- Tendência: é a diferença entre a média observada das medições e o valor convencional (VC).



# AVALIAÇÃO DA TENDÊNCIA

47

- Selecionar uma peça-padrão e definir o VC;
- Repetir a medição, no mínimo, 10 vezes;
- Calcular a média das medidas obtidas, onde  $n$  = número de replicações:

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

- Calcular a tendência (Bias):

$$tendência = \bar{x} - VC$$

# AVALIAÇÃO DA TENDÊNCIA

48

- Calcular o desvio-padrão da repetitividade:
  - ▣ Se um estudo de R&R está disponível e válido, então deve ser utilizado este desvio-padrão.

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

- Determinar se a repetitividade é aceitável. A variação total (VT) é baseada na variação esperada do processo (preferencial) ou na tolerância dividida por 6
  - ▣ Se o valor de %VE for alto, então a variação do sistema de medição é inaceitável.

$$\%VE = 100 * \frac{VE}{VT}$$

$$\%VE = 100 * \frac{\sigma_{repe}}{VT}$$

- Calcular o desvio-padrão da média:

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{repe}}{\sqrt{n}}$$



# AVALIAÇÃO DA TENDÊNCIA

49

- Calcular a estatística  $t_{cal}$ :

$$t_{cal} = \frac{tendencia}{\sigma_b}$$

- Tendência é aceitável para um nível de significância  $\alpha$ , se:
  - O módulo de  $t_{cal}$  for menor ou igual a  $t_{tab}$  ou
  - o Valor-P associado a  $t_{cal}$  for maior que  $\alpha$ ; ou
  - Zero ficar dentro do intervalo de confiança de 95% para a tendência:

$$Tendencia - [\sigma_b(t_{tab})] \leq Zero \leq Tendencia + [\sigma_b(t_{tab})]$$

Onde:  $\nu = n - 1$  e  $t_{tab} \Rightarrow$  Tabela 2

# AVALIAÇÃO DA TENDÊNCIA

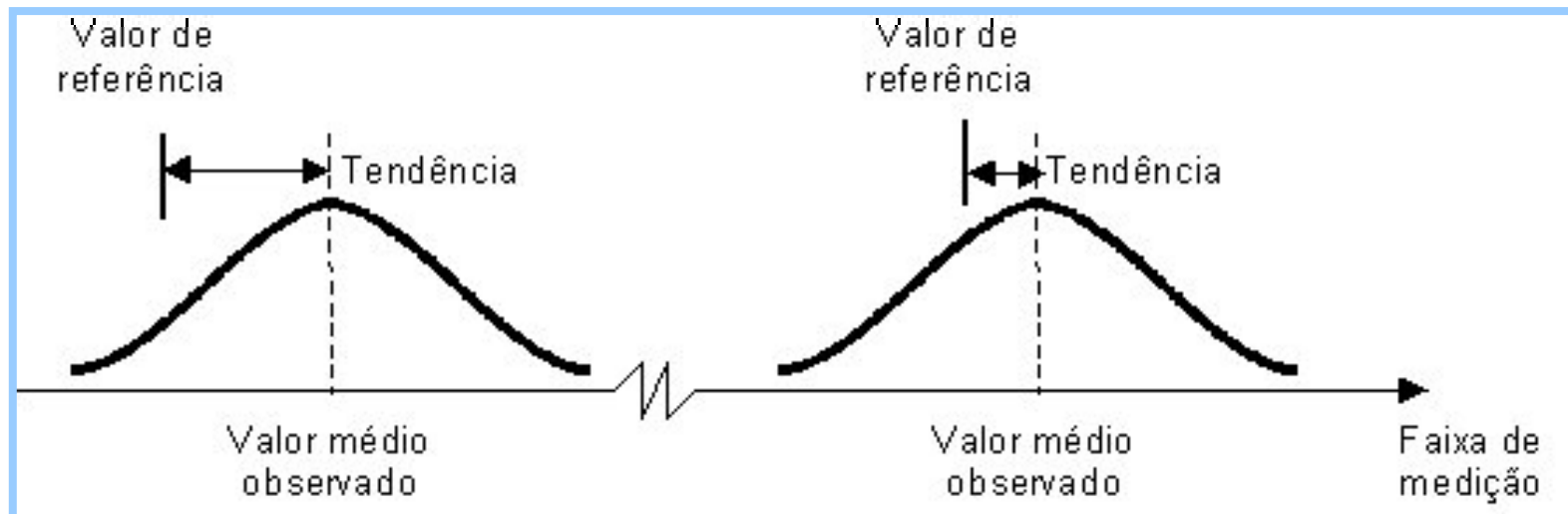
50

- Em geral, a tendência do sistema de medição é inaceitável se for significativamente diferente de zero ou exceder o máximo erro admissível estabelecido para o processo de calibração do dispositivo de medição.
  
- Se a tendência for estatisticamente não nula, verificar estas possíveis causas:
  - Erro no valor de referência (VVC);
  - Instrumento desgastado;
  - Instrumento construído para dimensão errada;
  - Instrumento medindo característica errada;
  - Instrumento calibrado de forma inadequada;
  - Instrumento usado pelo avaliador de forma inadequada;
  - Instrumento com algoritmo de correção incorreto;
  - Influência das condições ambientais.

# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

51

- Linearidade: é a diferença nos valores da tendência ao longo da faixa de operação esperada do dispositivo de medição.



# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

52

- Selecionar, no mínimo 5 peças-padrão ( $g \geq 5$ ), que cobrem a faixa do DM;
- Determinar o VC de cada peça-padrão;
- Medir aleatoriamente, no mínimo 10 vezes ( $m \geq 10$ ), cada peça-padrão;
- Calcular a tendência para cada peça-padrão;
- Construir o gráfico em linha, da tendência em função do VC.

# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

53

- Determinar a reta que melhor passe pelos pontos plotados.

$y = ax + b$  , sendo  $y =$  tendência

$x =$  VC

$a =$  coeficiente angular(linearidade)

$b =$  coeficiente linear

$$a = \frac{\sum xy - \left( \frac{1}{gm} \sum x \sum y \right)}{\sum x^2 - \frac{1}{gm} (\sum x)^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

54

- O intervalo de confiança para uma dado valor  $x_0$  é dado por:

$$b + ax_0 - \left[ t_{gm-2, 1-\alpha/2} \left( \frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} s \right]$$

$$b + ax_0 + \left[ t_{gm-2, 1-\alpha/2} \left( \frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{1/2} s \right]$$

onde:  $s = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - b \sum y_i - a \sum x_i y_i}{gm - 2}}$

# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

55

- Calcular o desvio-padrão da repetitividade:

$$\sigma_{repe} = S$$

- Determinar se a repetitividade é aceitável. A variação total (VT) é baseada na variação esperada do processo (preferencial) ou na tolerância dividida por 6.

- ▣ Se o valor de %VE for alto, então a variação do sistema de medição é inaceitável.

$$\%VE = 100 * \frac{\sigma_{repe}}{VT}$$

# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

56

- Analisar a linearidade do sistema de medição, considerando todos os dados individuais coletados. Para que seja aceitável, é necessário que o valor calculado de  $ta$  seja inferior ao valor tabelado de  $t$  (Tabela 2), para um nível de confiança de 95%.

$$|ta_{calc}| = \frac{|a|}{\left[ \frac{s}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})}} \right]} \leq t_{gm-2, 1-\alpha/2}$$



# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

57

- Analisar a tendência, para verificar se a mesma é significativamente igual a zero. Esta análise somente tem relevância se a condição de linearidade estiver atendida.

$$|tb_{calc}| = \frac{|b|}{\left[ \sqrt{\frac{1}{g * m} + \frac{\bar{x}^{-2}}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \right] * s} \leq t_{gm-2, 1-\alpha/2}$$

# AVALIAÇÃO DA LINEARIDADE

58

- Em geral, a linearidade e a tendência do sistema de medição é inaceitável se for significativamente diferente de zero ou exceder o máximo erro admissível estabelecido para o processo de calibração do dispositivo de medição.

As causas possíveis do erro de linearidade são:

- desgaste do instrumento ou do dispositivo de fixação;
- manutenção precária: ar, energia, hidráulica, filtros, corrosão, limpeza;
- erros nos valores de referência (VC).

Um sistema de medição por atributo apenas classifica a peça em aprovada ou reprovada. Faz-se necessário avaliar o grau de concordância entre os avaliadores, e destes com a situação ideal.



## SISTEMA DE MEDIÇÃO POR ATRIBUTO

# Sistema de Medição por atributo

60

- Diretrizes de aplicação:
  - Selecionar o número suficiente de peças ( $n = 50$ ), dentre as quais estejam peças conformes e não-conformes. Aproximadamente 25% das peças devem estar próximas do limite inferior de especificação e 25% das peças devem estar próximas do limite superior de especificação;
  - Cada peça ser medida com um instrumento de medição por variável. Se isto não for possível, a utilização de especialistas para determinar as amostras conformes e não-conformes é uma alternativa;
  - Selecionar 3 avaliadores;
  - Cada avaliador deve analisar cada peça, aleatoriamente, 3 vezes;
  - Realizar os cálculos de avaliação.

# Sistema de Medição por atributo

61

□ a) Índice de concordância entre 2 avaliadores:

			Avaliador B		Total
			0	1	
Avaliador A	0	Qtd	N1	N2	<b>T1 =</b> N1 + N2
	1	Qtd	N3	N4	<b>T2 =</b> N3 + N4
Total		Qtd	<b>T3 =</b> N1 + N3	<b>T4 =</b> N2 + N4	<b>N =</b> N1 + N2 + N3 + N4

N1 = número de classificações reprovadas pelo avaliador A e pelo avaliador B

N2 = número de classificações reprovadas pelo avaliador A e aprovadas pelo avaliador B

N3 = número de classificações aprovadas pelo avaliador A e reprovadas pelo avaliador B

N4 = número de classificações aprovadas pelo avaliador A e pelo avaliador B

# Sistema de Medição por atributo

62

Índice de concordância entre 2 avaliadores:

□ kappa aceitável ( $\geq 0,75$ )

$$kappa = \frac{\left(\frac{T1}{N} + \frac{T3}{N}\right) - \left(\frac{T1}{N} * \frac{T3}{N} + \frac{T2}{N} * \frac{T4}{N}\right)}{1 - \left(\frac{T1}{N} * \frac{T3}{N} + \frac{T2}{N} * \frac{T4}{N}\right)}$$

# Sistema de Medição por atributo

63

b) Índice de concordância de cada avaliador com a referência:

$$kappa = \frac{\left(\frac{N1}{N} + \frac{N4}{N}\right) - \left(\frac{T1}{N} * \frac{T3}{N} + \frac{T2}{N} * \frac{T4}{N}\right)}{1 - \left(\frac{T1}{N} * \frac{T3}{N} + \frac{T2}{N} * \frac{T4}{N}\right)}$$

□ kappa > 0,75

			Referência		Total
			0	1	
Avaliador A	0	Qtd	N1	N2	<b>T1 =</b> N1 + N2
	1	Qtd	N3	N4	<b>T2 =</b> N3 + N4
Total		Qtd	<b>T3 =</b> N1 + N3	<b>T4 =</b> N2 + N4	<b>N =</b> N1 + N2 + N3 + N4

# Sistema de Medição por atributo

64

Taxa de eficácia (TE):

- Eficácia aceitável:  $\geq 90\%$
- Eficácia marginal:  $\geq 80\%$
- Eficácia inaceitável:  $< 80\%$

$$TE = 100 * \frac{\textit{número de peças avaliadas corretamente}}{\textit{Número total de peças}}$$



# Sistema de Medição por atributo

65

**Taxa de falso alarme (Tfa):** é a probabilidade do avaliador classificar uma peça como sendo Reprovada, quando na verdade esta peça é Aprovada:

□ **Aceitável:**  $\leq 5\%$

□ Aceitação marginal:  $\leq 10\%$

□ **Inaceitável:**  $> 10\%$

$$Tfa = 100 * \frac{N2}{T4}$$

			Referência		Total
			0	1	
Avaliador A	0	Qtd	N1	N2	<b>T1 =</b> N1 + N2
	1	Qtd	N3	N4	<b>T2 =</b> N3 + N4
Total		Qtd	<b>T3 =</b> N1 + N3	<b>T4 =</b> N2 + N4	<b>N =</b> N1 + N2 + N3 + N4

# Sistema de Medição por atributo

66

**Taxa de erro (Ter):** é a probabilidade do avaliador classificar uma peça como sendo Aprovada, quando na verdade esta peça é Reprovada:

$$Ter = 100 * \frac{N3}{T3}$$

- **Aceitável:  $\leq 2\%$**
- Aceitação marginal:  $\leq 5\%$
- **Inaceitável:  $> 5\%$**

			Referência		Total
			0	1	
Avaliador A	0	Qtd	N1	N2	<b>T1 =</b> N1 + N2
	1	Qtd	N3	N4	<b>T2 =</b> N3 + N4
Total		Qtd	<b>T3 =</b> N1 + N3	<b>T4 =</b> N2 + N4	<b>N =</b> N1 + N2 + N3 + N4