

Avaliação de Sistemas de Medição

Roteiro

1. Características de um Sistema de Medição
2. Avaliação do Erro Sistemático
3. Repetitividade e Reprodutibilidade
4. Adequabilidade de Sistema de Medição
5. Aplicação
6. Referências

Características de Sistema de Medição

Medição

- O monitoramento de um processo dá-se através da medição de uma característica de qualidade;
- Medição produz resultados com erros ou com certo grau de incerteza;

Variabilidade

- Variabilidade total nos valores medidos de X :
 - √ Variabilidade real: inerente ao processo produtivo
 - Causas comuns e, ocasionalmente causas aleatórias;
 - √ Variabilidade inerente à medição.
- Se o erro de medição for independente do verdadeiro valor da grandeza medida consegue-se estimar diretamente σ_{tot}^2 e σ_{med}^2 .

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{processo}^2 + \sigma_{medição}^2$$

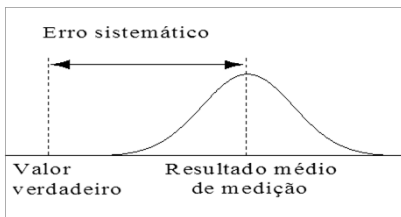
$$\sigma_{processo}^2 = \sigma_{total}^2 - \sigma_{medição}^2$$

Características de um Sistema de Medição

- Valor verdadeiro:
 - √ Resultado de uma medição perfeita
- Erro de medição:
 - √ Diferença entre o resultado de uma medição e o valor verdadeiro

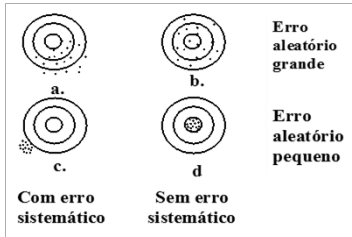
Parcelas do Erro de Medição

- Erro sistemático:
 - √ Diferença entre o valor médio de infinitas medições do mensurando (sob as mesmas condições) e seu valor verdadeiro;
- Erro aleatório:
 - √ Diferença entre o resultado da medição e esse valor médio;
 - √ Tem média nula.
 - √ Em geral, é bem representado por uma distribuição normal.



- A magnitude do erro sistemático pode variar ao longo da escala do instrumento de medição;
- O erro sistemático pode ser conhecido e corrigido através de procedimento de calibração

Relacionamento entre os Erros



- Centro do alvo: valor verdadeiro da grandeza medida
- Instrumento "exato": Não possui erro sistemático;
- Instrumento "preciso": seu erro aleatório é pequeno

Diferenças entre Sistemas de Medição

- Principais fatores que diferenciam os sistemas de medição:
 - √ Detalhes construtivos e de projeto;
 - √ Desgaste decorrente do uso;
 - √ Modo de operação;
 - √ Condições ambientais;
 - √ Calibração.

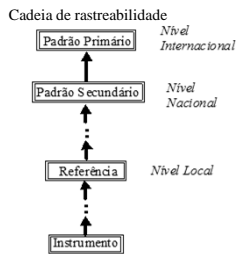
Avaliação do Erro Sistemático

Avaliação do Erro Sistemático

- Comparação do resultados de medição obtido pelo instrumento com valor de referência obtido por padrão;
- Calibração:
 - √ Conjunto de operações que estabelece correspondência entre os valores entre os valores indicados pelo instrumento e os valores estabelecidos por padrão de referência

Rastreabilidade

- Propriedade de um resultado de medição relacionar-se com referências estabelecidas;



Procedimento para Cálculo do Erro Sistemático

- Diferença média entre o valor de referência (x) e o valor medido (x_i) repetidas vezes pelo mesmo operador e em condições normais de operação

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - x)}{k}$$

- Desvio-padrão amostral:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (d_i - \bar{d})^2}{k - 1}}$$

Intervalo de Confiança

- Intervalo com $(1 - \alpha)100\%$ de confiança:

$$\bar{d} - t_{\alpha/2, (k-1)} \frac{s_d}{\sqrt{k}} \leq \text{erro} \leq \bar{d} + t_{\alpha/2, (k-1)} \frac{s_d}{\sqrt{k}}$$

- Se o intervalo de confiança incluir o zero, não temos evidência amostral pra afirmar que o erro sistemático é diferente de zero, a um nível de significância α .

Erro Sistemático Relativo

- Porcentagem em relação à variabilidade total

$$\% \text{ erro sistemático} = \frac{\bar{d}}{\hat{\sigma}_{\text{total}}} \times 100$$

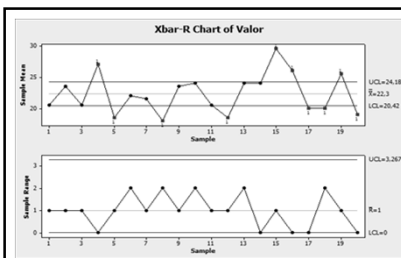
- Recomenda-se que esse percentual não deva exceder *10%* para se considerar adequado o sistema de medição.

Atividade 6

Repetitividade e Reprodutibilidade

Exemplo – Capacidade de Medidor

- Objetivo: avaliação da capacidade de medidor
- Operador do processo utiliza duas vezes o instrumento para medir cada unidade do produto
- Dados: planilha: *BD_CQ_II.xls*/ guia: *medidas*



- Gráfico Xbarra:
 ✓ Mostra poder discriminativo do medidor – capacidade do medidor para distinguir as unidades
- Gráfico R: Sob controle
 ✓ Operador não tem dificuldade em utilizar instrumento

- Estimativa do erro de mensuração:

$$\hat{\sigma}_{\text{medidor}} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{1,0}{1,128} = 0,887$$

- Distribuição do erro de mensuração é bem aproximada pela normal.
- Estimativa capacidade do medidor:

$$6\hat{\sigma}_{\text{medidor}} = 6(0,887) = 5,32$$

As mensurações podem variar em até $(\pm 2,66)$ devido a erro do medidor

Variabilidade na Medição

- Variância total:

$$\sigma_{\text{total}}^2 = \sigma_{\text{processo}}^2 + \sigma_{\text{medição}}^2$$

- Norma *QS 9000 Quality Manuals*
(CHRYSLER, FORD, GENERAL MOTORS, 1994)
 - √ *process variation*: variação total
 - √ *part-to-part variation*: variação do processo

Propriedades

- Repetitividade:
 - √ Aptidão do instrumento em fornecer indicações muito próximas, em medições sucessivas de um mesmo mensurando, sob as mesmas condições;
 - √ Precisão básica inerente ao próprio medidor
- Reprodutibilidade:
 - √ Grau de concordância entre resultados de medições de um mesmo mensurando efetuados sob condições variadas de medição
 - √ Variabilidade devido o medidor ser utilizado por diferentes operadores

- Podem ser expressas quantitativamente em função da dispersão dos resultados

$$\sigma_{\text{erro de medição}}^2 = \sigma_{\text{medidor}}^2 = \sigma_{\text{repetitividade}}^2 + \sigma_{\text{reprodutibilidade}}^2$$

Condições de Repetitividade

- Mesmo procedimento de medição;
- Mesmo observador;
- Mesmo instrumento de medição, utilizado nas mesmas condições;
- Mesmo local;
- Repetição em curto espaço de tempo.

Variabilidade da Medição

- Variabilidade inerente à medição:

$$\sigma_{\text{medidor}}^2 = \sigma_{\text{repe}}^2 + \sigma_{\text{repro}}^2$$

- σ_{repe}^2 : variância dos resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando sob as mesmas condições;
- σ_{repro}^2 : variância dos resultados de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição

- Quanto menores σ_{repe} e σ_{repro} maiores, respectivamente, serão a repetitividade e a reprodutibilidade dos resultados das medições;

- Usa-se quantificar a repetitividade de um instrumento pela largura da faixa que conterà 99,73% dos resultados sob condições de repetitividade (sob hipótese de normalidade):

$$\sqrt{6} \sigma_{\text{repe}}$$

- Analogamente, a reprodutibilidade pode ser quantificada por:

$$\sqrt{\sigma_{\text{repro}}}$$

Procedimento de Estimação de σ_{repe}^2

- Medições sucessivas:
 - √ da mesma grandeza;
 - √ pelo mesmo operador;
 - √ usando o mesmo procedimento de medição;
 - √ num mesmo local;
 - √ sob as mesmas condições;
 - √ em curto período de tempo.
- Sequência de medições aleatorizada:
 - √ Operador não sabe quando mede a mesma peça.

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

- √ R: média das amplitudes de cada conjunto de medidas da mesma peça;
- √ Em geral, 2 medidas para a mesma peça.

Procedimento de Estimação de σ_{repro}^2

Em geral considera-se a influência de diferentes operadores:

- $\hat{\sigma}_{repro}$: desvio-padrão de médias de vários operadores

$$\hat{\sigma}_{repro} = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_{\bar{x}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{repe})^2}{nr}}, \text{ com } \bar{R}_{\bar{x}} = \bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}$$

- √ \bar{x}_{\max} : máximo valor dos resultados médios obtidos por diferentes operadores
- √ r: número de vezes que cada item é medido por cada operador;
- √ n: número de itens medido

$$\hat{\sigma}_{\text{repro}} = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_{\bar{X}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{\text{repe}})^2}{nr}}, \text{ com } \bar{R}_{\bar{X}} = \bar{x}_{\text{max}} - \bar{x}_{\text{min}}$$

↑
↑
 variância total variância da média amostral de cada operador

- Se há vários operadores, estima-se σ_{repro} por:

$$\hat{\sigma}_{\text{repe}} = \frac{\bar{R}}{d_2}$$
- Estima-se que $\sigma_{\text{repro}}^2 = 0$, se $\left(\frac{\bar{R}_{\bar{X}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{\text{repe}})^2}{nr} < 0$

Índice R & R

- Estimativa da capacidade do sistema de medição:

$$R\&R = 6\hat{\sigma}_{\text{med}} = 6\sqrt{\hat{\sigma}_{\text{repe}}^2 + \hat{\sigma}_{\text{repro}}^2}$$

√ Índice R & R: índice de repetitividade e reprodutibilidade

Exemplo – Micrômetro

- Micrômetro com leitura milésima
 - √ 10 peças selecionadas aleatoriamente
 - √ 3 operadores medem duas vezes cada peça
 - √ Seqüência de medição é aleatorizada

Peça	Operador 1		Operador 2		Operador 3	
	Medida 1	Medida 2	Medida 1	Medida 2	Medida 1	Medida 2
1	19.982	19.981	19.981	19.981	19.981	19.976
2	19.994	19.993	20.001	19.997	19.996	19.996
3	20.223	20.221	20.219	20.221	20.223	20.222
4	20.226	20.226	20.222	20.226	20.223	20.224
5	20.025	19.994	20.035	20.033	20.028	20.025
6	20.234	20.233	20.234	20.234	20.233	20.227
7	20.043	20.043	20.054	20.051	20.037	20.035
8	20.050	20.049	20.052	20.051	20.032	20.032
9	20.015	20.017	20.018	20.017	19.985	19.979
10	19.980	19.980	19.980	19.980	19.994	19.980

• Médias e amplitudes

Peça	Operador 1		Operador 2		Operador 3	
	x	R	x	R	x	R
1	19,982	0,001	19,981	0,000	19,979	0,005
2	19,994	0,001	19,999	0,004	19,996	0,000
3	20,222	0,002	20,220	0,002	20,223	0,001
4	20,226	0,000	20,224	0,004	20,224	0,001
5	20,010	0,031	20,034	0,002	20,027	0,003
6	20,234	0,001	20,234	0,000	20,230	0,006
7	20,043	0,000	20,053	0,003	20,036	0,002
8	20,050	0,001	20,052	0,001	20,032	0,000
9	20,016	0,002	20,018	0,001	19,982	0,006
10	19,980	0,000	19,980	0,000	19,987	0,014
Médias	20,07545	0,0039	20,07935	0,0017	20,07140	0,0038

• Cálculo repetitividade: d_2 para $r = 2$

$$\bar{R} = \frac{0,0039 + 0,0017 + 0,0038}{3} = 0,00313 \quad \hat{\sigma}_{\text{repe}} = \frac{0,00313}{1,128} = 0,00278$$

• Cálculo reprodutibilidade: d_2 para $o = 3$

$$R_{\bar{x}} = 20,07935 - 20,0714 = 0,0079$$

$$\hat{\sigma}_{\text{repro}} = \sqrt{\left(\frac{0,0079}{1,693}\right)^2 - \frac{(0,00278)^2}{20}} = 0,0046$$

• Repetitividade e Reprodutibilidade do instrumento:

$$\left. \begin{aligned} 6\hat{\sigma}_{\text{repe}} &= 0,00167 = 16,7 \mu\text{m} \\ 6\hat{\sigma}_{\text{repro}} &= 0,00280 = 28,0 \mu\text{m} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Faixa que contém 99,73\%} \\ \text{dos resultados sob condições} \\ \text{de repetitividade e} \\ \text{reprodutibilidade} \end{array}$$

• Estimativa da capacidade do sistema de medição:

$$R\&R = 6\sqrt{(0,00278)^2 + (0,0046)^2} = 0,0325$$

• A largura da faixa que conterà 99,73% dos resultados é $32,5 \mu\text{m}$

✓ se o erro de medição seguir distribuição normal

Atividade 7

Exemplo – Capacidade de Medidor

- Operador do processo utiliza duas vezes o instrumento para medir cada unidade do produto
- Repete-se estudo original com dois outros operadores
- Objetivo: Estimar repetitividade e reprodutividade
- Dados: planilha: *BD_CQ_II.xls*/ guia: *medidas_excel*

Dados

Peça	Operador 1				Operador 2				Operador 3			
	1	2	xbarra	R	1	2	xbarra	R	1	2	xbarra	R
1	21	20	20,5	1	20	20	20	0	19	21	20	2
2	24	23	23,5	1	24	24	24,0	0	23	24	23,5	1
3	20	21	20,5	1	19	21	20,0	2	20	22	21,0	2
4	27	27	27,0	0	28	26	27,0	2	27	28	27,5	1
5	19	18	18,5	1	19	18	18,5	1	18	21	19,5	3
6	23	21	22,0	2	24	21	22,5	3	23	22	22,5	1
7	22	21	21,5	1	21	24	23,0	3	22	20	21,0	2
8	19	17	18,0	2	18	20	19,0	2	19	18	18,5	1
9	24	23	23,5	1	25	23	24,0	2	24	24	24,0	0
10	25	23	24,0	2	26	25	25,5	1	24	25	24,5	1
11	21	20	20,5	1	20	20	20,0	0	21	20	20,5	1
12	18	19	18,5	1	17	19	18,0	2	18	19	18,5	1
13	23	25	24,0	2	25	23	24,0	0	25	25	25,0	0
14	24	24	24,0	0	23	25	24,0	2	24	25	24,5	1
15	29	30	29,5	1	30	28	29,0	2	21	20	20,5	1
16	26	26	26,0	0	25	26	25,5	1	25	27	26,0	2
17	20	20	20,0	0	19	20	19,5	1	20	20	20,0	0
18	19	21	20,0	2	19	19	19,0	0	21	20	20,5	1
19	25	26	25,5	1	25	24	24,5	1	25	26	25,5	0
20	19	19	19,0	0	18	17	17,5	1	19	17	18,0	2
	xbarbar		22,30	1,00	xbarbar		22,28	1,25	xbarbar		22,10	1,20

- Estimação da Repetitividade

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}_1 + \bar{R}_2 + \bar{R}_3}{3} = \frac{1,00 + 1,25 + 1,20}{3} = 1,15$$
$$\hat{\sigma}_{\text{repe}} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{1,15}{1,128} = 1,02$$

- No exercício:

$$\bar{x}_{\text{max}} = 22,30 \text{ e } \bar{x}_{\text{min}} = 22,10$$
$$\bar{R}_{\bar{x}} = \bar{x}_{\text{max}} - \bar{x}_{\text{min}} = 0,20$$
$$\hat{\sigma}_{\text{repro}} = \sqrt{\left(\frac{\bar{R}_{\bar{x}}}{d_2}\right)^2 - \frac{(\hat{\sigma}_{\text{repe}})^2}{nr}} = \sqrt{\left(\frac{0,20}{1,693}\right)^2 - \frac{(1,02)^2}{20(2)}}$$

- Estima-se que $\sigma_{\text{repro}}^2 = 0$, pois $\left(\frac{0,20}{1,693}\right)^2 - \frac{(1,02)^2}{20(2)} < 0$

Adequabilidade do Sistema de Medição

Adequabilidade

- Adequação do sistema de medição:
 - √ comparação de sua capacidade com as tolerâncias da característica de qualidade.
- *PT*: percentagem de tolerância

$$PT = \frac{R\&R}{LSE - LIE} \times 100$$

- Relação com a variabilidade total do conjunto de dados:

$$\%R\&R = \frac{R\&R}{\hat{\sigma}_{total}} \times 100$$

√ com:

$$\hat{\sigma}_{total} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^o \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r (x_{ijk} - \bar{\bar{x}})^2}{onr - 1}} \times 100$$

- √ *o*: número de operadores
- √ *n*: número de itens medidos;
- √ *r*: número de medidas de cada item
- √ $\hat{\sigma}_{total}$: desvio-padrão amostral de todas as medidas, de todos os itens, por todos os operadores.
- √ $\bar{\bar{x}}$: média aritmética global

Classificação da Adequabilidade de Sistema de Medição

- Classificação quanto à razão *PT*:
 - √ Critério pouco rigoroso em caso de processos altamente capazes.
- Classificação quanto à *%R&R*:

Classificação quanto à % R & R

% R&R	Classificação
$\%R\&R \leq 10$	Adequado
$10 \leq \%R\&R \leq 30$	Pode ser adequado dependendo da importância da aplicação, do custo do instrumento, etc.
$\%R\&R > 30$	Inadequado. Sistema de medição necessita de melhorias

- %R&R alto pode indicar que parte significativa da variação total provém do sistema de medição.

Comentários

- σ_{repe}^2 deve ser diminuído através da melhoria do processo de medição;
 - √ instrumento mais sofisticado, treinamento operador, etc.
- Se σ_{repe}^2 é baixo com relação a σ_{repro}^2 pode-se suspeitar de problemas com manutenção do instrumento, operadores, qualidade metrológica do instrumento, etc.
- Se σ_{repro}^2 é baixo com relação a σ_{repe}^2 deve-se observar a necessidade de treinamento de operadores

Norma QS9000

- Recomendações:
 - √ amostra de tamanho $n=10$,
 - √ cada operador medindo 2 vezes a mesma peça;
 - √ 3 operadores medindo as mesmas peças
- Caso possível aumentar o número de medidas por operador:
 - √ Obtém-se melhores resultados medindo mais peças, do que aumentar a quantidade de medidas na mesma peça por operador.

Atividade 8

Aplicação

Gage R&R Study

- *Gage R&R Study (Crossed):*
√ Cada peça é medida múltiplas vezes por cada operador.
- *Gage R&R Study (Nested):*
√ Cada peça é medida por apenas 1 operador
– Ex.: Ensaio destrutivo

Gage R&R Study (Crossed)

- Método X e R:
 - √ Divide a variação total em 3 categorias: processo (*part-to-part*), repetitividade e reprodutibilidade.
- Método Anova:
 - √ Dá um passo a mais e divide a reprodutibilidade nos componentes: operador e na interação operador-peça

Variabilidade – Hierarquia



Método ANOVA

- Tabela *Anova* de desenho fatorial balanceado 2-fatores;
- Efeito Operadores:
 - √ Variação entre diferentes operadores medindo a mesma peça;
- Efeito Peça por Operador:
 - √ Variação entre a média das peças medidas pro cada operador
 - Considera casos em que um operador apresenta maior variação quando mede peças menores, enquanto outro apresenta maior variação quando mede peças maiores

Quantidade de Categorias

- Quantidade de categorias dos dados que o sistema consegue perceber:
 - √ Deseja-se que o sistema de medição distinga uma alta quantidade de categorias (instrumento mais preciso)

$$\# \text{categorias} = \frac{\hat{\sigma}_{\text{processo}}}{R\&R} \times 1,41$$

Quantidade de Categorias

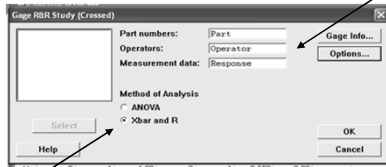
- AIAG (Automobile Industry Action Group):
 - √ # categorias < 2: sistema de medição inadequado para controlar o processo
 - Não se pode distinguir uma peça da outra
 - √ # categorias = 2 : os dados podem ser distinguidos em dois grupos (Alto e Baixo);
 - √ # categorias = 3 : os dados podem ser divididos em três grupos (Alto, Médio e Baixo)
 - √ # categorias ≥ 4: sistema de medição aceitável

Sistema de Medição 1 – GAGEIAG

- Situação:
 - √ A variação do sistema de medição **contribui pouco** na variação total;
- Banco de dados:
 - √ 10 peças selecionadas, representando a amplitude esperada da variação do processo;
 - √ 3 operadores mediram as 10 peças, 2 vezes cada uma;
 - √ Aleatorização na seqüência das medidas
- Planilha: *gageaiag*

- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGEAIAG :
 - √ Sistema de medição contribui pouco com a variação total;
 - √ Análise com o método \bar{X} e R

Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study(Crossed)



Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution
	(of VarComp)	(of %SD)
Total Gage R&R	0,0020838	6,33
Repeatability	0,0011549	3,51
Reproducibility	0,0009281	2,82
Part-To-Part	0,0308271	93,67
Total Variation	0,0329111	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var	%Study Var
	(of SD)		
Total Gage R&R	0,045650	0,20590	25,16
Repeatability	0,033983	0,20390	18,73
Reproducibility	0,030451	0,19288	16,90
Part-To-Part	0,175577	1,05346	96,78
Total Variation	0,181414	1,08848	100,00

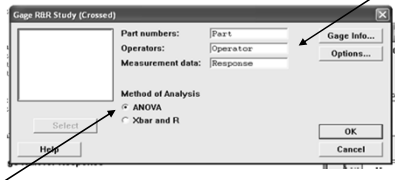
Number of Distinct Categories = 5

a) Colaboração do sistema de medição na variabilidade total;
 b) O critério da quantidade de categorias indica que o sistema de medição é adequado.

a) Percentual baixo de variação devido ao sistema de medição;
 b) Maioria dos pontos fora dos limites de controle quando a variação é devido principalmente à diferença entre as partes (processo)
 c) Sugere a significância da interação Operador e Peça.

- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGEAIAG :
 - √ Sistema de medição contribui pouco com a variação total;
 - √ Análise com o método *Anova*

Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study(Crossed)



Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.0046075	100.00
Repeatability	0.0012917	3.10
Reproducibility	0.0033158	7.18
Operator	0.0009120	2.19
Operator*Part	0.0022938	5.97
Part-To-Part	0.0071064	18.33
Total Variation	0.0416019	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var	%Study Var
Total Gage R&R	0.066815	0.009869	32.46
Repeatability	0.005694	0.003244	17.62
Reproducibility	0.056058	0.003633	27.80
Operator	0.000200	0.001000	14.51
Operator*Part	0.047465	0.002538	25.17
Part-To-Part	0.102701	1.15666	96.92
Total Variation	0.003965	1.00075	100.00

Number of Distinct Categories = 4

a) Colaboração do sistema de medição na variabilidade total maior que aquela calculado anteriormente;

b) O critério da quantidade de categorias indica que o sistema de medição é adequado.

• Percentual baixo de variação devido ao sistema de medição;

√ Maior que a calculado pelo método anterior

Sistema de Medição 2 – GAGE2

- Situação:
 - √ A variação do sistema de medição **contribui muito** na variação total;
- Banco de dados:
 - √ 3 peças selecionadas, representando a amplitude esperada da variação do processo;
 - √ 3 operadores mediram as 3 peças, 3 vezes cada uma;
 - √ Aleatorização na seqüência das medidas
- Planilha: *gage2*
 - √ Análise com o método *Xbar* e *R*.

Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	7229,94	78,11
Repeatability	0,00	0,00
Reproducibility	2026,08	21,89
Total Variation	9255,99	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var	%Study Var
Total Gage R&R	85,0291	810,174	88,38
Repeatability	0,0000	0,0000	0,00
Reproducibility	45,0116	2026,070	46,79
Total Variation	96,2081	977,248	100,00

Number of Distinct Categories = 1

a) Porcentagem grande de variabilidade dos dados deve-se ao sistema de medição;

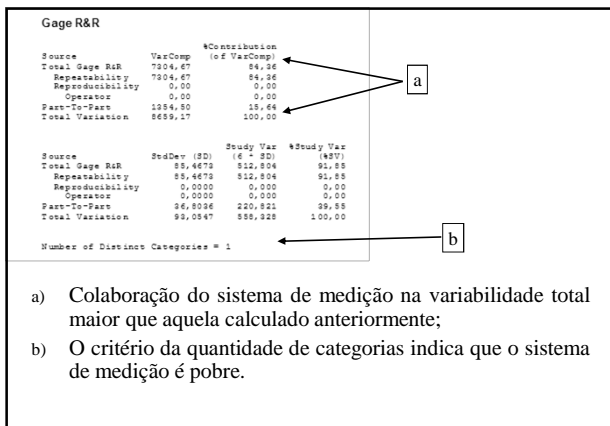
b) Sistema de medição é pobre.

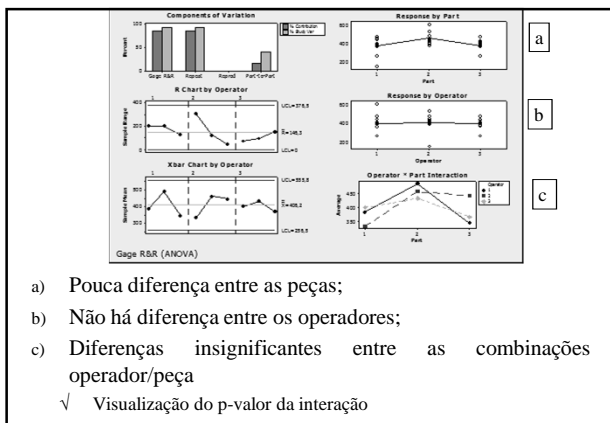
- √ Não consegue distinguir diferenças entre as peças.

a) Alta percentagem de variação devido ao sistema de medição, principalmente repetitividade;

b) Maioria dos pontos dentro dos limites de controle quando a variação observada é devido principalmente ao sistema de medição.

- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGE2:
 - √ Sistema de medição contribui pouco com a variação total;
 - √ Análise com o método *Anova*



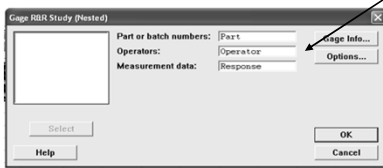


Sistema de Medição 3 – GAGENEST

- Situação:
 - √ 30 medições;
 - √ 3 operadores mediram as 5 diferentes peças, 2 vezes cada uma;
 - √ Dois operadores não mediram a mesma peça
- Planilha: *gagenest*

- Estudo do Sistema de Medição do Banco GAGENEST :

Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study(Nested)



Gage R&R

Source	%Contribution
Total Gage R&R	1,28922
Repeatability	1,28922
Reproducibility	0,00000
Part-To-Part	0,27420
Total Variation	1,86264

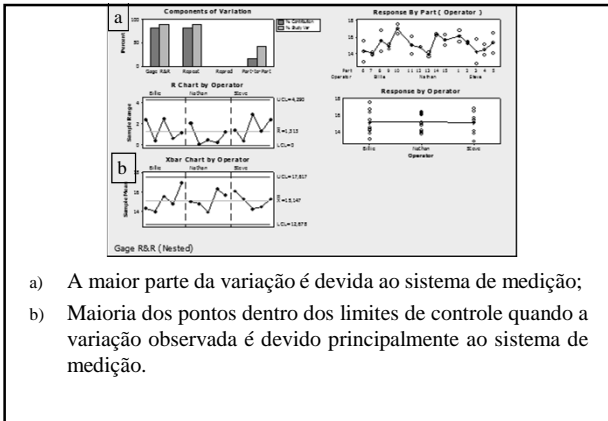
Source	%Contribution
Total Gage R&R	1,28922
Repeatability	1,28922
Reproducibility	0,00000
Part-To-Part	0,27420
Total Variation	1,86264

Number of Distinct Categories = 1

a

b

- A maior parte da variação é devida ao sistema de medição;
- O critério da quantidade de categorias indica que o sistema de medição é pobre..

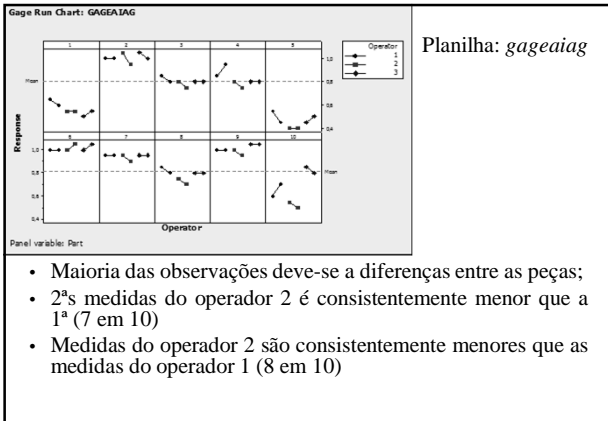


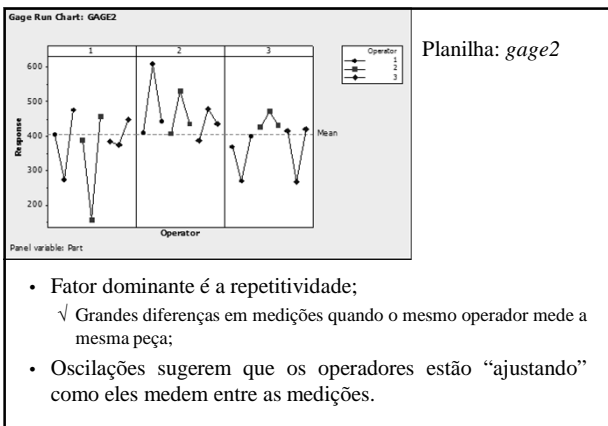
Gage Run Chart

- Todas as observações por operador e por peça;
- Linha horizontal:
 - √ Valor-alvo ou calculado a partir dos dados.
- Um processo estável apresenta uma nuvem horizontal de pontos;
- Efeito de operador ou de peça produziriam algum tipo de padrão no gráfico

- Pode-se comparar variação:
 - √ Entre medidas por cada operador;
 - √ Diferenças em medidas entre operadores.
- Pode-se verificar relação das medidas com a linha de referência.

Stat > Quality Tools > Gage Run Chart





Estudo de Linearidade e Vício

- Linearidade: Precisão das medições na faixa esperada de valores:
 - √ “Meu instrumento tem a mesma precisão para todos os tamanhos sendo medidos?”
- Vício: Diferença entre as medidas médias observadas e uma referência ou valor padrão:
 - √ “Qual a precisão de meu instrumento quando comparado com um padrão?”

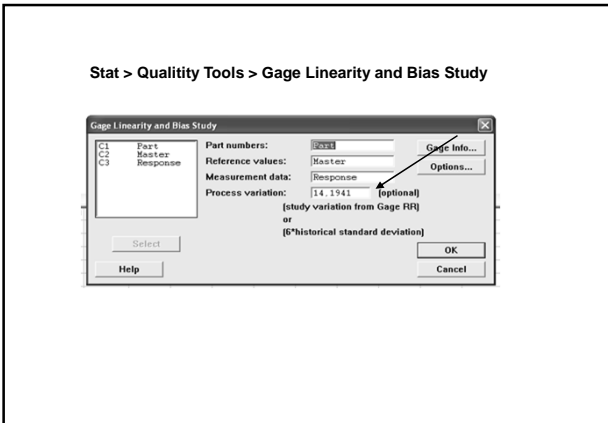
Exemplo

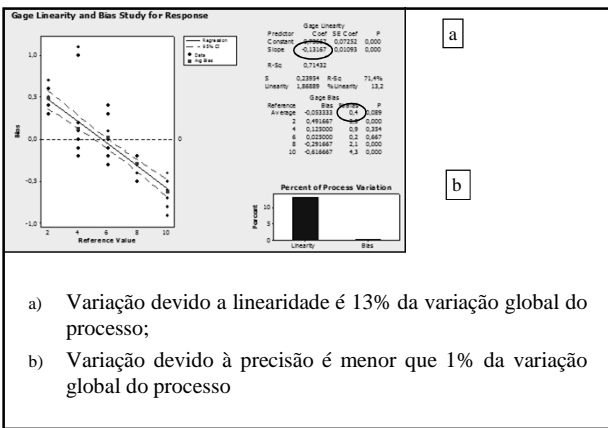
- 5 peças selecionadas para representar a faixa esperada das medidas;
- Determinado o valor padrão de cada peça;
- Único operador mede aleatoriamente 12 vezes cada peça
- Estudo *Gage R&R* indicou variação do processo igual a *14,1941*

Medidas de Linearidade e Vício

- Linearidade:
 - √ Regressão linear dos desvios médios para as medidas padrão
 - √ $Linearidade = inclinação \times \sigma_{processo}$
 - √ % em relação à variabilidade do processo = $\frac{inclinação \times 100}{\sigma_{processo}}$
 - √ Quanto mais próxima de 0 for a inclinação, melhor a linearidade do instrumento.

- Vício:
 - √ Média dos desvios de todas as peças com relação a suas medidas padrão
 - √ % de vício em relação à variação do processo = $\frac{desvio\ médio}{\sigma_{processo}}$





Referências

Bibliografia Recomendada

- Costa, A. F. B., Epprecht, E. K., Carpinetti, L. C. R.
(Atlas)
Controle Estatístico de Qualidade
- Montgomery, D. C. (LTC)
Introdução ao Controle Estatístico de Qualidade
