

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 .

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

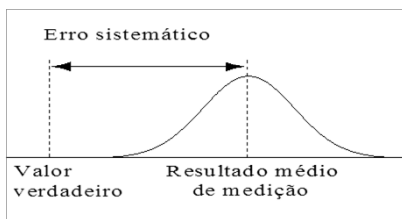
$$\sigma_{processo}^2 = \sigma_{total}^2 - \sigma_{medição}^2$$

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

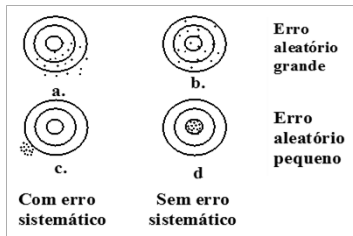
Parcelas do Erro de Medição

- 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.

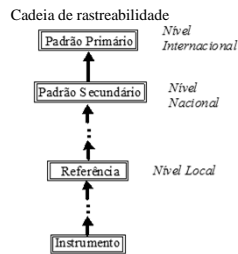
Avaliação do Erro Sistemático

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

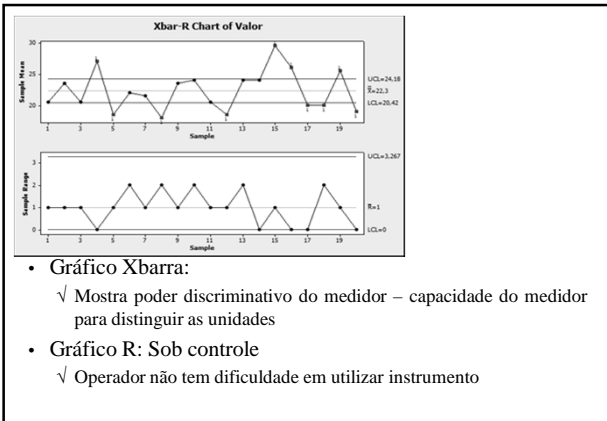
$$\% \text{ erro sistemático} = \frac{\bar{d}}{\hat{\sigma}_{\text{total}}} \times 100$$

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

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*



• 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.
- Seqüência de medições aleatorizada:
 - ✓ Operador não sabe quando mede a mesma peça.

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

- √ 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^2_{repro}

Em geral considera-se a influência de diferentes operadores:

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

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

- √ \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 $\sigma^2_{\text{repro}} = 0$, 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:

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

√ 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
 - √ Sequência 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	
	\bar{x}	R	\bar{x}	R	\bar{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	20.018	0.002	20.018	0.001	19.982	0.005
10	19.980	0.001	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 $r = 2$

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

- 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:

$$6\hat{\sigma}_{\text{repe}} = 0,00167 = 16,7 \mu\text{m}$$

$$6\hat{\sigma}_{\text{repro}} = 0,00280 = 28,0 \mu\text{m}$$

} Faixa que contém 99,73% dos resultados sob condições de repetitividade e reprodutibilidade

- 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

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.

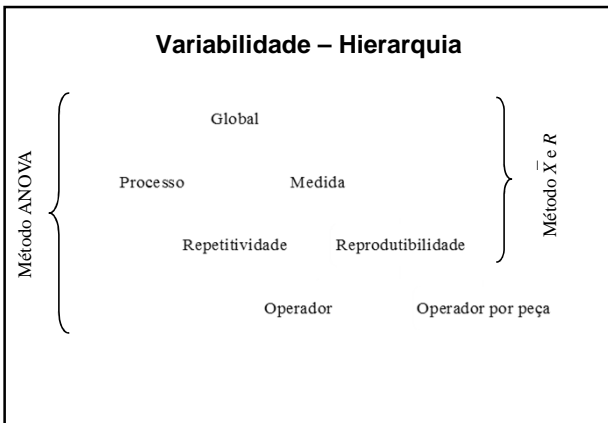
Aplicação

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



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

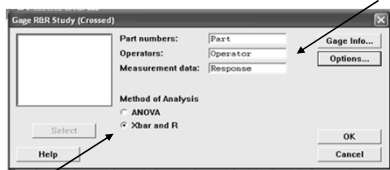
- AIAG (Automobile Industry Action Group):
 - √ # categorias < 2: sistema de medição inadequado para controlar o processo
 - Não se pode distinguir uma peça da outra
 - √ # categorias = 2 : os dados podem ser distinguidos em dois grupos (Alto e Baixo);
 - √ # categorias = 3 : os dados podem ser divididos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

Sistema de Medição 1 – GAGEAIAG

- 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 *Xbar e R*

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



Gage R&R Study - XBar/R Method

Source	VarComp	%Contribution
(of VarComp)		
Total Gage R&R	0,0020839	6,33
Repeatability	0,0011849	3,51
Reproducibility	0,0008991	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	0,20830	25,16
Repeatability	0,033993	0,20390	18,73
Reproducibility	0,020481	0,18288	16,50
Part-To-Part	0,175377	1,05848	86,78
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.

c) Sugere a significância da interação Operador e Peça.

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)

- 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	0.0048079	10.87
Repeatability	0.0012917	3.10
Reproducibility	0.0035162	7.56
Operator	0.0020200	4.19
Operator*Part	0.0022338	5.37
Part-To-Part	0.0016444	89.33
Total Variation	0.0416019	100.00

Source	StdDev (SD)	%Study Var	%Study Var
Total Gage R&R	0.066615	0.19969	32.66
Repeatability	0.035800	0.11064	17.62
Reproducibility	0.058920	0.18052	27.82
Operator	0.044700	0.13520	14.81
Operator*Part	0.047068	0.14388	22.17
Part-To-Part	0.127051	1.18468	94.92
Total Variation	0.202969	1.22379	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	7229,94	78,11
Reproducibility	0,00	0,00
Part-To-Part	2024,05	21,89
Total Variation	9255,99	100,00

Source	StdDev (SD)	(6 * SD)	%Study Var (4.5σ)
Total Gage R&R	85,0291	510,174	88,38
Repeatability	85,0291	510,174	88,38
Reproducibility	0,0000	0,0000	0,00
Part-To-Part	45,0116	270,070	46,79
Total Variation	96,2081	577,248	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 porcentagem 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*

Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	7004,67	84,86
Repeatability	7004,67	84,86
Reproducibility	0,00	0,00
Operator	0,00	0,00
Part-To-Part	1084,80	15,66
Total Variation	8659,17	100,00

Source	StdDev (SD)	% Study Var	% Study Var (SDV)
Total Gage R&R	83,6670	812,804	81,88
Repeatability	83,6670	812,804	81,88
Reproducibility	0,0000	0,000	0,00
Operator	0,0000	0,000	0,00
Part-To-Part	33,0086	220,821	39,58
Total Variation	93,0547	888,928	100,00

Number of Distinct Categories = 1

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 pobre.

a) Pouca diferença entre as peças;

b) Não há diferença entre os operadores;

c) Diferenças insignificantes entre as combinações operador/peça

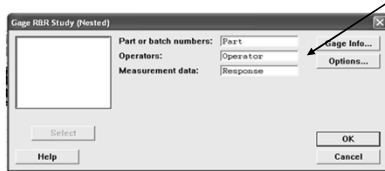
√ Visualização do p-valor da interação

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	VarComp	%Contribution
Total Gage R&R	1,26922	82,46
Repeatability	1,26922	82,46
Reproducibility	0,00000	0,00
Part-To-Part	0,27430	17,54
Total Variation	1,26266	100,00

Source	StdDev (SD)	Study Var	%Study Var
Total Gage R&R	1,12659	6,81259	90,81
Repeatability	1,12659	6,81259	90,81
Reproducibility	0,00000	0,00000	0,00
Part-To-Part	0,52274	2,14240	45,88
Total Variation	1,22046	7,30273	100,00

Number of Distinct Categories = 1

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

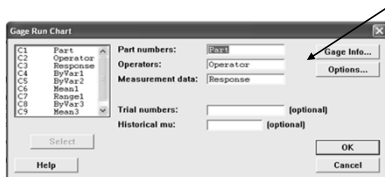
a) A maior parte da variação é devida ao sistema de medição;
 b) Maioria dos pontos dentro dos limites de controle quando a variação observada é devido principalmente ao sistema de medição.

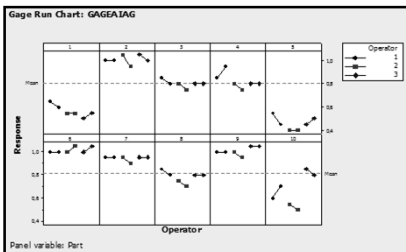
Gage Run Chart

- 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 produziram 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.

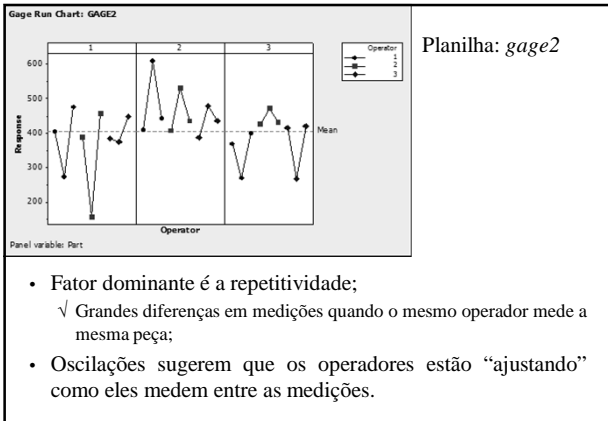
Stat > Quality Tools > Gage Run Chart





Planilha: gageaiag

- Maioria das observações deve-se a diferenças entre as peças;
- 2ªs medidas do operador 2 é consistentemente menor que a 1ª (7 em 10)
- Medidas do operador 2 são consistentemente menores que as medidas do operador 1 (8 em 10)



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

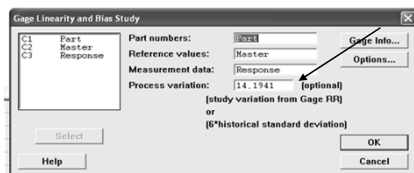
- 5 peças selecionadas para representar a faixa esperada das medidas;
- Determinado o valor padrão de cada peça;
- Único operador mede aleatoriamente 12 vezes cada peça
- Estudo *Gage R&R* indicou variação do processo igual a *14,1941*

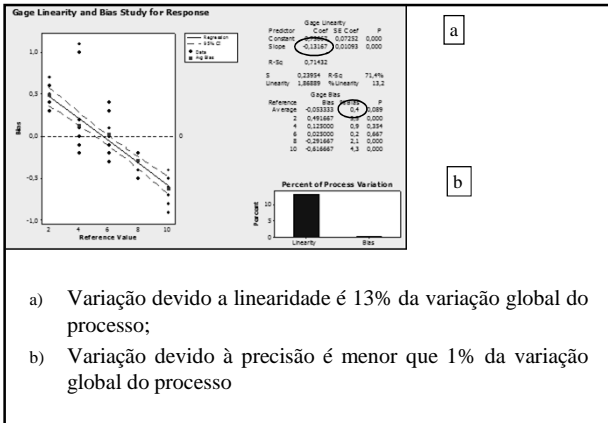
Medidas de Linearidade e Vício

- Linearidade:
 - √ Regressão linear dos desvios médios para as medidas padrão
 - √ $Linearidade = inclinação \times \sigma_{processo}$
 - √ % em relação à variabilidade do processo = $\frac{inclinação}{100}$
 - √ 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 = $\frac{desvio\ médio}{\sigma_{processo}}$

Stat > Quality Tools > Gage Linearity and Bias Study





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
