

Introdução ao Minitab 16



Prof. Fabrício Maciel Gomes



Avaliação do Sistema de Medição



Exemplo 1: Diâmetro do Bocal da Bomba de Combustível

PROPOSTA

Avaliar como a precisão de um aparelho de medição e do operador afetam a variabilidade do sistema de medição, usando o Gage R&R Study (Crossed).

PROBLEMA

O elaborador de um bocal para bomba de combustível instalou um novo sistema digital de medição. Especialistas da área desejam determinar o quão eficiente é este sistema.



DADOS COLETADOS

9 bocais foram selecionados aleatoriamente ao longo do início de todos processos que podem provocar algum tipo de variação (máquina, tempo, turno, troca de turno) para representar todos os bocais tipicamente produzidos. Os bocais foram numerados para a identificação das medições de cada um deles.

O primeiro operador efetuou as medições em ordem completamente aleatória. Então, os nove bocais foram novamente aleatorizados e um segundo operador efetuou novamente as medições dos mesmos bocais. Este processo foi repetido duas vezes para cada operador, totalizando 36 medições.

NOTA: Para uma boa análise do sistema de medição e inspeção é importante assegurar que a amostra foi obtida de forma aleatória, bem como que as medições efetuadas por cada operador também ocorreram em ordem completamente aleatória.

A especificação para o diâmetro dos bocais é de: 9012 ± 4 microns (tolerância de oito microns).



MSA

FERRAMENTAS UTILIZADAS

- Gage R&R Study (Crossed).

ARQUIVO DE DADOS: NOZZLE.MPJ

Variável	Descrição
Nozzle	Unidade do bocal que será avaliado
Operator	Operador que efetuou a medição
Run Order	Ordem original do experimento
Diameter	Diâmetro (em microns) dos bocais



O QUE É UM GAGE R&R STUDY (CROSSED)?

O Gage R&R Study (crossed) é um experimento usado para estimar o quanto da variação total do processo é devido ao sistema de medição. A variação total do processo consiste na variação part-to-part (natural do processo) mais a variação do sistema de medição, que por sua vez pode ser subdividida em:

- Repetibilidade: Variação devida ao aparelho de medição, ou variação observada quando um mesmo operador efetua as medições de um mesmo item repetidamente.
- Reprodutibilidade: Variação devida aos diferentes operadores designados para efetuar as medições dos mesmos itens.

Para estimar a repetibilidade, cada operador mede cada item pelo menos duas vezes, e para estimar a reprodutibilidade pelo menos dois operadores devem medir o mesmo item. Além disso, também é muito importante que os operadores procedam com as medições de forma completamente aleatorizada e que os itens mensurados abranjam todas as possíveis situações do processo.

QUANDO USAR O GAGE R&R STUDY (CROSSED)?

Use o Gage R&R Study (crossed):

- Para avaliar ou qualificar previamente um sistema de medição, adotando-o posteriormente no monitoramento do processo ou em atividades de melhoria;



PORQUE USAR O GAGE R&R STUDY (CROSSED)?

Use este método para comparar a variação de um sistema de medição com a variação total do processo e/ou tolerância. Se a variação do sistema de medição representar grande parte da proporção da variação total do processo, o sistema não é capaz de detectar a diferença existente entre os itens.

O Gage R&R Study pode responder questões tais como:

- A variação devida ao sistema de medição é pequena se comparada com a variação natural do processo?
- A variação devida ao sistema de medição é pequena se comparada com os limites de especificação do processo?
- Quanto da variabilidade do sistema de medição é devido à diferença entre os operadores?
- O sistema de medição é capaz de discriminar a diferença natural existente entre os itens?

Por exemplo:

- Quanto da variabilidade dos diâmetros mensurados é devido ao operador?
- O sistema de medição é capaz de realizar a discriminação entre itens produzidos com tamanhos diferentes?



Use o Gage R&R Study (Crossed) para avaliar:

- Quão bem o sistema de medição é capaz de distinguir os diferentes itens;
- Se os operadores estão efetuando as medições de forma consistente.

TOLERÂNCIA

Os limites de especificação para o diâmetro do bocal da bomba de combustível são de 912 ± 4 microns. Em outras palavras, o diâmetro do bocal pode variar no máximo quatro unidades para cada direção. A tolerância é a amplitude do limite de especificação do cliente, neste caso, temos que:
Tolerância = $9016 - 9008 = 8$ microns

Fornecendo o valor da tolerância do processo, podemos estimar qual proporção da tolerância é devido à variação no sistema de medição.

GAGE R&R STUDY (CROSSED)

1. Abra o arquivo NOZZLE.MPJ
2. Escolha **Stat > Quality Tools > Gage Study > Gage R&R Study (Crossed)**;
3. Complete a caixa de diálogo, como mostramos abaixo:



MSA

Gage R&R Study (Crossed)

Part numbers: Nozzle

Operators: Operator

Measurement data: Diam

Method of Analysis

ANOVA

Xbar and R

Select

Help

Gage Info...

Options...

Conf Int...

Storage...

OK

Cancel

4. Clique em **Options**;
5. Em **Process tolerance**, digite 8;
6. Clique em **OK** em cada todas as caixas de diálogo.



MSA

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

O MINITAB usa a metodologia de Análise de Variância (ANOVA) para calcular a variância dos componentes, que é usada para estimar o percentual de variação devido ao sistema de medição. O percentual de variação é emitido na tabela Gage R&R.

A tabela Two-Way ANOVA para duas fontes de variação inclui o termo para a fonte de variação do item (Nozzle), operador (Operator) e da interação entre item e o operador (Nozzle * Operator).

Se o P-Value (P-Valor) para a interação for maior ou igual a 0,25, o MINITAB gera uma segunda tabela de ANOVA, omitindo o termo de interação do modelo. Para alterar o default do MINITAB, que assume uma taxa para o erro tipo I igual a 0,25, clique em **Options** e entre com o novo valor (por exemplo: 0,3).

Neste exemplo, o P-Valor para Nozzle*Operator é 0,707. Portanto, o MINITAB removeu o termo de interação do modelo e gerou uma segunda tabela de ANOVA.

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Nozzle	8	46,1489	5,76861	769,148	0,000
Operator	1	0,0400	0,04000	5,333	0,050
Nozzle * Operator	8	0,0600	0,00750	0,675	0,707
Repeatability	18	0,2000	0,01111		
Total	35	46,4489			

Alpha to remove interaction term = 0,25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Nozzle	8	46,1489	5,76861	576,861	0,000
Operator	1	0,0400	0,04000	4,000	0,056
Repeatability	26	0,2600	0,01000		
Total	35	46,4489			



COMPONENTES DE VARIAÇÃO

O MINITAB também calcula a coluna com os componentes de variação (VarComp, que serão a base para o cálculo da %Gage R&R, usando o método da ANOVA.

A tabela Gage R&R nos mostra como a variabilidade total do processo é subdividida entre as seguintes fontes de variação:

- Total Gage R&R:
 - Repetibilidade: representa a variabilidade proveniente de repetidas medições tomadas por um mesmo operador;
 - Reprodutibilidade (que pode ser novamente subdividida nos componentes operador e interação entre operador e item):

representa a variabilidade proveniente da medição de um mesmo item por diferentes operadores.

- Part-to-part: variabilidade natural do processo medida ao longo dos diferentes itens.

POR QUE USAR OS COMPONENTES DE VARIAÇÃO?

Usamos os Componentes de Variação para avaliar a contribuição de cada fonte de variação na variação total do processo.

Idealmente, a variabilidade medida ao longo dos diferentes itens (part-to-part) deve contribuir muito mais que a variabilidade devido a repetibilidade ou a reprodutibilidade, na variação total do processo.



MSA

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,01167	0,80
Repeatability	0,01000	0,69
Reproducibility	0,00167	0,11
Operator	0,00167	0,11
Part-To-Part	1,43965	99,20
Total Variation	1,45132	100,00

Process tolerance = 8

PERCENTUAL DE CONTRIBUIÇÃO

O %Contribution baseado na estimaco para os componentes da variância   calculado dividindo-se cada valor da coluna VarComp pela Variao Total, e multiplicando o resultado por 100.

No exemplo teremos:

$$\text{Total Gage R \& R} \rightarrow \frac{0,01167}{1,45132} \cdot 100 \cong 0,80$$

$$\text{Part - to - part} \rightarrow \frac{1,43965}{1,45132} \cdot 100 \cong 99,20$$

Portanto, 99,2% da variao total observada nas medioes so devido   diferena existente entre os itens, o que   um excelente resultado, visto que se o %Contribution Part-to-Part for alto o sistema de medio será capaz de distinguir bem os diferentes itens.



MSA

VARIÂNCIA VS. DESVIO-PADRÃO

Quando você estiver procedendo com a análise, utilize o %Contribution baseado na variância caso queira tornar as interpretações mais simples, pois sua soma totaliza 100%.

O MINITAB também emite colunas com percentuais calculados com base no desvio-padrão (no qual: $\text{desvio-padrão} = (\text{variância})^{1/2}$) de cada termo. A soma dos componentes Total Gage R&R e Part to Part nas colunas chamadas de %StudyVar e %Tolerance não totalizam 100%, mas a vantagem de utilizarmos o desvio-padrão como uma medida de variação do processo está no fato de que ele é emitido na mesma escala dos itens mensurados, o que nos permite efetuar comparações significativas.

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,10801	0,64807	8,97	8,10
Repeatability	0,10000	0,60000	8,30	7,50
Reproducibility	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Operator	0,04082	0,24495	3,39	3,06
Part-To-Part	1,19986	7,19913	99,60	89,99
Total Variation	1,20471	7,22824	100,00	90,35

Number of Distinct Categories = 15



MSA

PERCENTUAL DA VARIAÇÃO ESTUDADA

Use o %StudyVar quando estiver interessado em comparar a variação do sistema de medição com a variação total.

O %StudyVar é calculado dividindo-se cada valor da coluna StudyVar pela Variação Total e multiplicando por 100.

Neste exemplo, temos para o Total Gage R&R: $\%StudyVar = \frac{0,64807}{7,22824} * 100 = 8,97\%$

A coluna StudyVar é obtida pelo cálculo de seis vezes o desvio-padrão de cada fonte.

PERCENTUAL DA TOLERÂNCIA

Freqüentemente, a comparação entre a variação do sistema de medição e a tolerância do processo fornecida pelo cliente nos é bastante útil e informativa.

Se fornecermos a tolerância, o MINITAB calculará o %Tolerance, que compara a variação do sistema de medição com as especificações. O %Tolerance pode ser interpretado como sendo o percentual da faixa de tolerância utilizada pela variabilidade do sistema de medição.

A variação do sistema de medição (6*SD para o Total Gage R&R) é dividida pela tolerância. A proporção resultante é multiplicada por 100, resultando no %Tolerance.

No exemplo, o percentual de tolerância do Total Gage R&R é dado por: $\%Tolerance = \frac{0,64807}{8} \cdot 100 = 8,10\%$



QUAL ESTIMADOR USAR?

Use o %Tolerance ou o %StudyVar para avaliar seu sistema de medição dependendo da situação:

- Se o sistema de medição for usado para promover melhorias no processo (redução da variação part-to-part), o %StudyVar será a melhor medida para avaliar a precisão do sistema de medição.
- Se o sistema de medição for usado para realizar comparações com a especificação do cliente, o %Tolerance será a melhor medida para avaliar a precisão do sistema de medição.

TOTAL GAGE R&R

Avaliando o %StudyVar e o %Tolerance, observamos que a contribuição do sistema de medição para a variação total foi menor que 10% em ambas as análises.

Total Gage R&R:

- %StudyVar = 8,97
- %Tolerance = 8,10

É importante lembrar que a diferença entre %Tolerance e %StudyVar está no denominador. Como a amplitude da tolerância (8) é maior que a variação total do Study Var (7,22824), os percentuais para o %Tolerance neste exemplo foram menores.



MSA

NÚMERO DE CATEGORIAS DISTINTAS

O número de categorias distintas estima em quantos grupos o sistema é capaz de distinguir os itens.

Esse valor é calculado da seguinte forma:

$$\frac{SD_{part-to-part}}{SD_{TotalGageR\&R}} \times \sqrt{2}$$

O valor resultante é então truncado.

Número de categorias	Significa
< 2	O sistema não é capaz de discriminar os diferentes itens.
= 2	Os itens podem ser separados em valores altos e valores baixos, o que equivale a tratar os dados como atributos.
> 5	O sistema é aceitável (de acordo com a AIAG) e é capaz de captar a diferença entre os itens.

Ainda no nosso exemplo, temos que o número de categorias distintas é igual a 15, o que nos indica que o sistema é bastante capaz de captar a diferença entre os itens.

NOTA: A AIAG recomenda que o número de categorias distintas seja maior que 5.



MSA

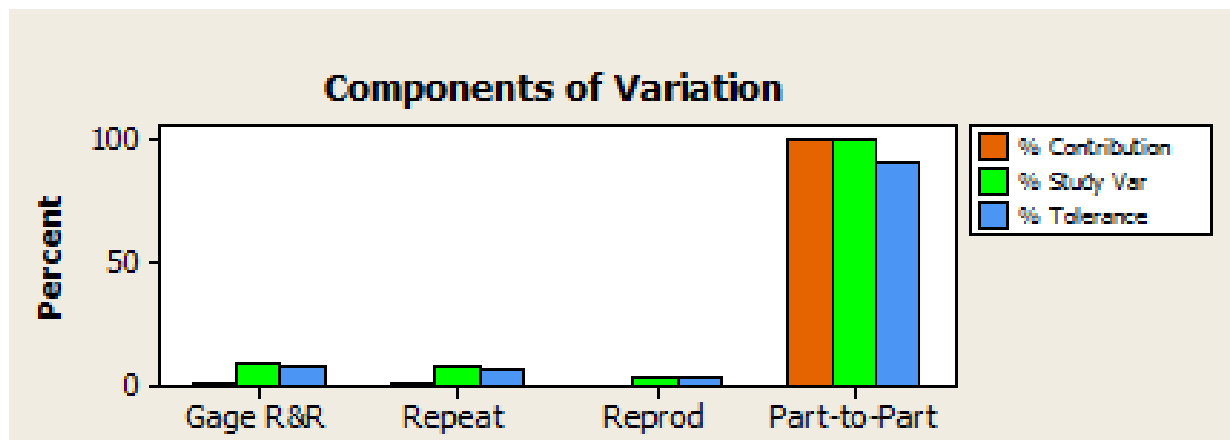
COMPONENTES DA VARIAÇÃO

O gráfico Components of Variation representa graficamente os resultados da tabela Gage R&R.

Cada grupo de barras representa uma fonte de variação. Por default, cada grupo deve conter duas barras para representar o %Contribution e o %StudyVar. Se o usuário informar a tolerância ou o desvio-padrão histórico, barras para o %Tolerance e o %Process também serão emitidas no gráfico.

Em um bom sistema de medição, as maiores barras devem ser relacionadas à variação natural existente entre os itens (part-to-part). Se ao invés disso, a maior parte da variação for atribuída ao sistema de medição, faz-se necessária a adoção de medidas corretivas.

No exemplo, observamos que grande parte da variação é atribuída às causas naturais do processo (part-to-part).





MSA

A CARTA R

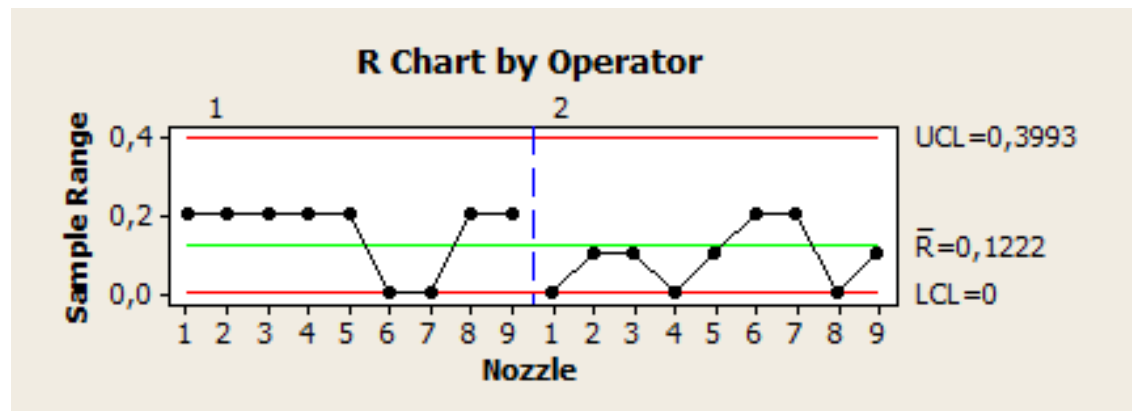
A carta R é uma carta de controle que exibe graficamente a consistência das medições realizadas pelos operadores. Uma carta R é constituída por:

- Pontos plotados, que representam, para cada operador, a diferença entre a maior e a menor medição de cada item. Se as medições forem iguais, o resultado será igual a zero.

Como os pontos são plotados por operador, podemos utilizar este gráfico para comparar a consistência de cada operador.

- Linha central, que representa a média de todas as amplitudes.
- Limites de controle superior e inferior (UCL e LCL), que são calculados com base na variação dentro dos subgrupos.

Se algum ponto da Carta R cair acima do limite superior de controle (UCL), concluímos que este operador tem grande dificuldade em proceder com as medições de um mesmo item com consistência. O cálculo do UCL leva em consideração o número de vezes que o operador mediu o item. Se os operadores estiverem fazendo as medições de forma consistente, essas amplitudes devem ser pequenas em relação aos dados e os pontos plotados na carta devem estar sob controle estatístico.





MSA

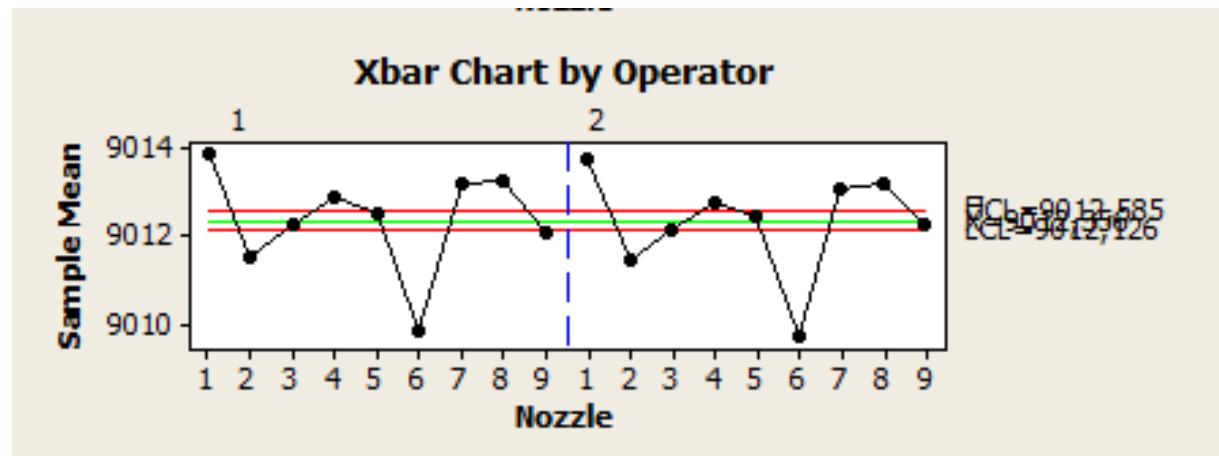
A CARTA \bar{X}

A Carta \bar{X} compara a variação item-a-item com o componente de repetibilidade. A Carta \bar{X} é constituída por:

- Pontos plotados, que representam, para cada operador, a média das medições de cada item.
- Linha central, que é a média geral de todas as medições de todos os itens para todos os operadores.
- Limites de controle superior e inferior (UCL e LCL), que são calculados com base na média geral, no número de medições e na repetibilidade estimada.

Este gráfico deve nos mostrar a falta de controle do processo de medição, pois os itens escolhidos para um estudo Gage R&R devem representar todos os tipos possíveis de itens, e é desejável ter uma baixa variação da repetibilidade se comparada com a variação entre os itens (part-to-part).

A falta de controle estatístico existe quando muitos pontos são observados abaixo ou acima dos limites de controle. No exemplo, observamos pontos fora dos limites de controle, o que indica que a variação item-a-item é muito maior que a variação causada pelo sistema de medição. Em outras palavras, na análise do sistema de medição desejamos que a Carta \bar{X} esteja fora de controle estatístico.





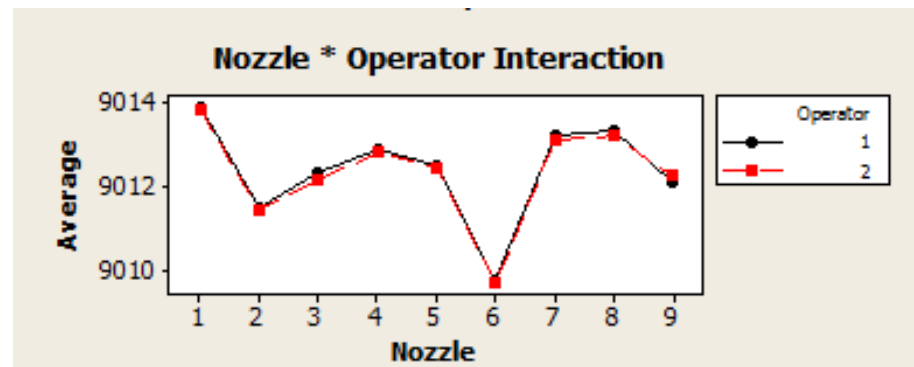
MSA

ANÁLISE DA INTERAÇÃO (OPERADOR*ITEM)

O gráfico Operator*Nozzle Interaction exibe as médias das medições tomadas por cada operador para cada item. Cada linha que conecta as médias para um único operador. Idealmente, as linhas e os pontos devem ser coincidentes.

Resultado	Significa...
As linhas são "idênticas"	Os operadores mensuram os itens de forma similar.
Uma das linhas apresenta resultados muito maiores ou menores que as outras.	Um operador está efetuando medições consistentemente maiores ou menores que os demais operadores para os mesmos itens.
As linhas não são paralelas ou se cruzam.	A habilidade de um operador em mensurar um item depende de qual item está sendo mensurado (há interação entre operador e item).

No exemplo, observamos que as linhas estão próximas umas das outras, e as diferenças entre os itens são claras. Os operadores parecem estar medindo os itens de forma similar.





MSA

ANÁLISE DAS MEDIÇÕES POR OPERADOR

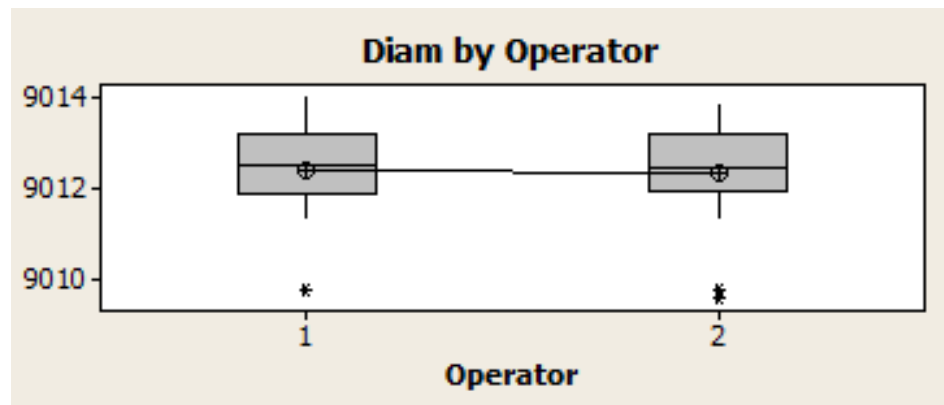
O gráfico Diam by Operator pode nos ajudar a determinar se as medições e a variabilidade são consistentes entre os operadores.

Esse gráfico mostra todas as medições tomadas no estudo estratificadas por operador. Os pontos representam as medições; os círculos pretos representam as médias. A linha conecta as médias das medições para cada operador.

Se a linha for...	Então...
Paralela ao eixo-x	Em média, os operadores estão medindo os itens de forma similar.
Não paralela ao eixo-x	Em média, os operadores estão medindo os itens de forma diferente.

Também podemos usar esse gráfico para avaliar se a variabilidade geral nas medições dos itens para cada operador é a mesma:

- A distribuição das medições efetuadas ocorre de maneira similar entre os operadores?
- Um operador apresenta maior variação nas medições em comparação com os outros?





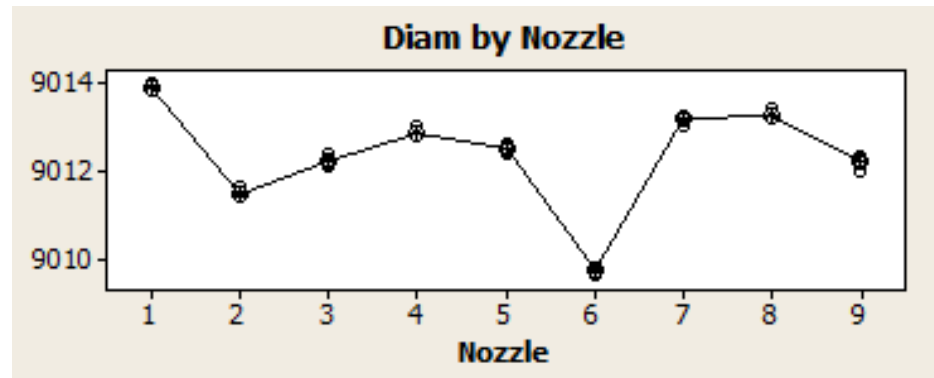
MSA

ANÁLISE DAS MEDIÇÕES DE ACORDO COM O ITEM

O gráfico Diam by Nozzle mostra todas as medições tomadas no estudo, estratificadas pelos itens. As medições estão representadas pelos círculos vazios; as médias pelos círculos preenchidos. A linha conecta as medições médias de cada item.

Idealmente:

- Múltiplas medições para o mesmo item têm pouca variação (os círculos vazios para cada item estarão bem próximos).
- As médias irão variar o suficiente para que as diferenças entre os diferentes itens estejam claras.





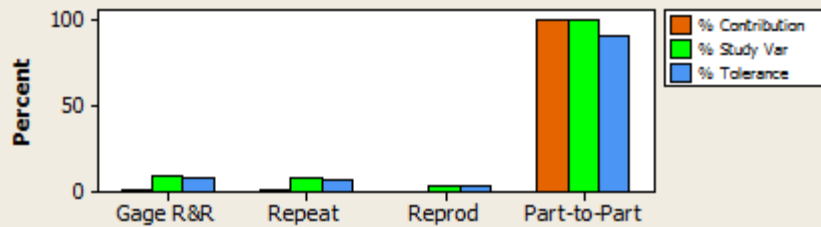
MSA

Gage R&R (ANOVA) for Diam

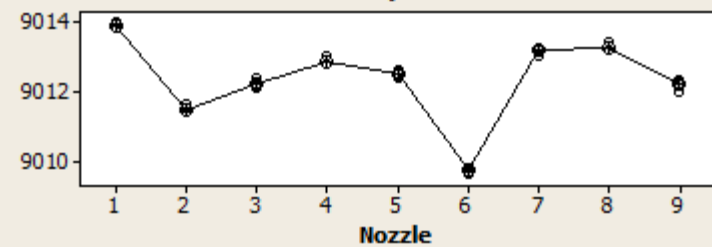
Gage name:
Date of study:

Reported by:
Tolerance:
Misc:

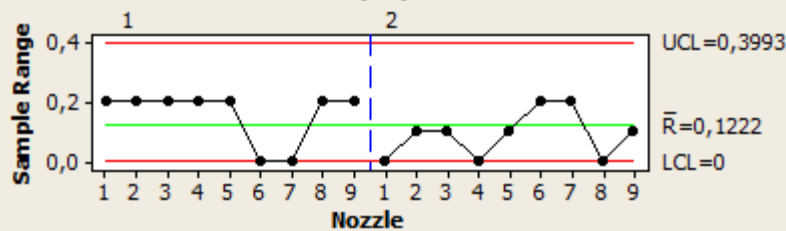
Components of Variation



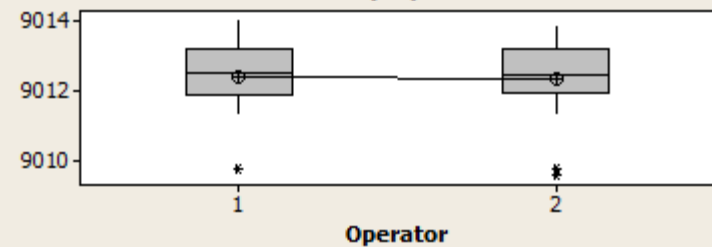
Diam by Nozzle



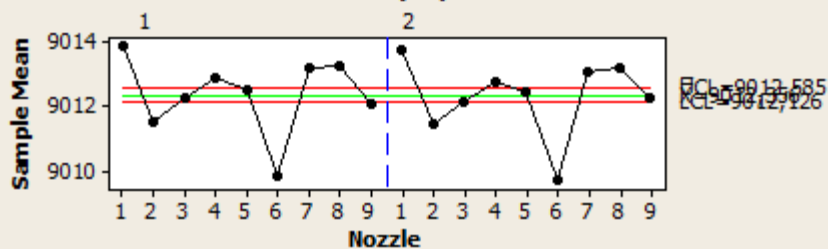
R Chart by Operator



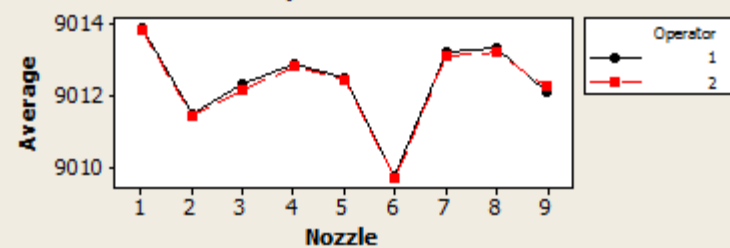
Diam by Operator



Xbar Chart by Operator



Nozzle * Operator Interaction





MSA

CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

A seguir apresentamos o guia da AIAG para um sistema de medição aceitável.

%Tolerance %StudyVar	%Contribuição	O sistema é...
< 10%	< 1%	Aceitável
10% - 30%	1% - 9%	Marginal
> 30%	> 9%	Inaceitável

Resultados desejáveis de serem observados na análise gráfica para estudo da variação do sistema de medição:

Gráfico	Resultado
Carta R	Baixa variabilidade entre as amplitudes médias
Carta \bar{X}	Carta fora de controle com grande parte dos pontos das amplitudes médias fora dos limites de controle
By part	Valores muito similares entre os operadores e variação entre os itens natural do processo
By operator	Valores muito similares para as medições de um mesmo item (pontos vazios muito próximos) e variação entre os itens (linha vermelha) natural do processo
Operator by part	Linhas semelhantes