

1

Estudos de medição para dados contínuos

Objetivos

- Determinar a adequação dos sistemas de medição.
- Compreenda a diferença entre estudos de medição R&R cruzados e aninhados.
- Calcular as estatísticas para avaliar a linearidade e o vício de um sistema de medição.

Neste capítulo

| Exemplos e exercícios | Propósito | Página |
|---|--|--------|
| Avaliação da variação do sistema de medição | | |
| Exemplo 1: Diâmetros de bico injetor de combustível | Avaliar como a precisão de um sistema de medição afeta a variabilidade de uma medição usando um estudo de medição R&R cruzado. | 3 |

| Exemplos e exercícios | Propósito | Página |
|---|--|---------------|
| Exemplo 2: Espessura do tubo de escapamento | Projetar um estudo de medição R&R para identificar problemas em um sistema de medição usando uma análise de medição R&R cruzada e um gage run chart. | 23 |
| Exercício A: Avaliação da consistência na leitura de cores | Identificar problemas no sistema de medição usando um estudo de medição R&R cruzado. | 36 |
| Exercício B: Resistência à ruptura do papel | Determinar a adequação de um sistema de medição com as medições obtidas a partir de um teste destrutivo usando um estudo de medição R&R cruzado. | 37 |
| Estudo de medição R&R aninhado (testes destrutivos com tamanhos de lotes pequenos) | | |
| Exemplo 3: Teste de impacto de aço inoxidável | Determinar a adequação de um sistema de medição com medições obtidas a partir de um teste destrutivo usando um estudo de medição R&R aninhado. | 38 |
| Exercício C: Aprimoramento do sistema de medição | Determinar a adequação de um sistema de medição com medições obtidas a partir de um teste destrutivo usando um estudo de medição R&R aninhado. | 50 |
| Análise de desvio sistemático e linearidade de medição | | |
| Exemplo 4: Nivelamento de ladrilho de pavimento | Determinar a linearidade e o vício de um sistema de medição usando um estudo de linearidade e vício. | 51 |

Avaliação da variação do sistema de medição

Exemplo 1: Diâmetros de bico injetor de combustível

Problema

Um fabricante de bicos injetores de combustível instala um novo sistema digital de medição. Os investigadores querem determinar se o novo sistema é bom para medir os bicos.

Coleta de dados

Os técnicos coletam amostras aleatórias em todas as principais fontes de variação do processo (máquina, tempo, turno, alteração de trabalho), 9 bicos que representam os que são normalmente produzidos. Eles codificam os bicos para identificar as medições feitas em cada bico.

O primeiro operador mede os 9 bicos em ordem aleatória. Depois, o segundo operador mede os 9 bicos em uma ordem aleatória diferente. Cada operador repete o processo duas vezes, obtendo um total de 36 medições.

Nota Para obter análises válidas de sistema de medição, é necessário coletar amostras e medir as peças de forma aleatória.

A especificação dos diâmetros dos bicos é de 9012 ± 4 microns. A tolerância é de 8 microns.

Ferramentas

- **Estudo de Medição R&R (Cruzado)**

Conjunto de dados

Bico.MPJ

| Variável | Descrição |
|------------------|---|
| Bico | Bico injetor de combustível medido |
| Operador | Operador que fez a medição |
| Ordem de ensaios | Ordem original de execução do experimento |
| Diâm | Diâmetro medido do bico (microns) |

Análise de sistemas de medição

O que é a análise de sistemas de medição

A análise de sistema de medição avaliam a adequação de um sistema de medição de um dado aplicativo. Ao medir o produto de um processo, considere duas fontes de variação:

- Variação entre peças
- Variação do sistema de medição

Se a variação do sistema de medição for grande em comparação com a variação entre peças, talvez as medições não ofereçam informações úteis.

Quando usar a análise do sistema de medição

Antes de coletar dados de seu processo (por exemplo, para analisar o controle ou capacidade do processo), use a análise do sistema de medição para confirmar se o sistema de medição mede com consistência e precisão e se diferencia as peças de forma adequada.

Por que usar a análise do sistema de medição

A análise do sistema de medição responde perguntas como:

- O sistema de medição consegue fazer a diferenciação correta das peças?
- O sistema de medição é estável ao longo do tempo?
- O sistema de medição é preciso por toda a gama de peças?

Por exemplo:

- Um viscosímetro consegue fazer a diferenciação correta das viscosidades de várias amostras de tinta?
- É necessário recalibrar periodicamente uma balança para pesar com precisão o enchimento de sacos de batatas chips?
- Um termômetro mede com precisão a temperatura em todas as configurações de calor que são usadas no processo?

Estudo de medição R&R (cruzado)

O que é um estudo de medição R&R (cruzado)

Um estudo de medição R&R cruzado estima quanto da variação total do processo é causada pelo sistema de medição. A variação total do processo é composta pela variação peça-a-peça mais a variação do sistema de medição. A variação do sistema de medição consiste em:

- Repetibilidade—variação devida ao dispositivo de medição ou a variação observada quando um observador mede a mesma peça repetidas vezes com o mesmo dispositivo
- Reprodutibilidade—variação devida ao sistema de medição ou a variação observada quando diferentes operadores medem a mesma peça usando o mesmo dispositivo

Ao estimar a repetibilidade, os operadores medem cada peça pelo menos duas vezes. Ao estimar a reprodutibilidade, ao menos dois operadores devem medir as peças. Os operadores medem as peças em ordem aleatória e as peças selecionadas representam a gama possível de medições.

Quando usar um estudo de medição R&R (cruzado)

- Use a medição R&R para avaliar um sistema de medição antes de usá-lo para monitorar ou melhorar um processo.
- Use a análise cruzada quando cada operador medir cada peça (ou lote, para um teste destrutivo) várias vezes.

Por que usar um estudo de medição R&R (cruzado)

Esse estudo compara a variação do sistema de medição com a variação total do processo ou tolerância. Se a variação do sistema de medição for grande em proporção à variação total, o sistema não poderá fazer a correta distinção das peças.

Um estudo de medição R&R cruzado pode responder perguntas como:

- A variabilidade de um sistema de medição é pequena comparada com a variabilidade do processo de fabricação?
- A variabilidade de um sistema de medição é pequena em comparação com os limites de especificação do processo?
- Quanta variabilidade no sistema de medição é causada por diferenças entre operadores?
- Um sistema de medição é capaz de diferenciar as peças?

Por exemplo:

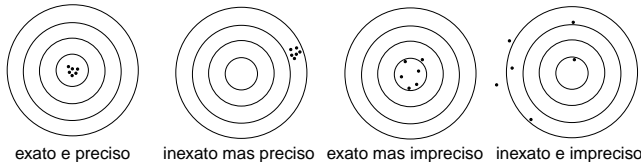
- Quanto da variabilidade no diâmetro medido de um rolamento é causada pelo paquímetro?
- Quanto da variabilidade no diâmetro medido de um rolamento é causado pelo operador?
- O sistema de medição consegue diferenciar rolamentos de tamanhos diferentes?

Erro do sistema de medição

Os erros do sistema de medição podem ser classificados em duas categorias:

- **Exatidão**—diferença entre a medição e o valor real da peça
- **Precisão**—variação quando a mesma peça é medida repetidas vezes pelo mesmo dispositivo

Erros de uma ou ambas as categorias podem ocorrer em qualquer sistema de medição. Por exemplo, um dispositivo pode medir peças com precisão (pequena variação nas medições), mas não com exatidão. Ou um dispositivo pode ser exato (a média das medições são muito próximas do valor de referência), mas não preciso (as medições têm uma grande variância). Ou um dispositivo pode não ser nem exato, nem preciso.



Exatidão

A exatidão de um sistema de medição tem três componentes:

- **Vício**—uma medição da falta de exatidão do sistema de medição; a diferença entre a medição média observada e um valor de referência
- **Linearidade**—uma medição de como o tamanho da peça afeta o vício do sistema de medição; a diferença nos valores de vício observados ao longo da amplitude esperada de medições
- **Estabilidade**—uma medição do desempenho do sistema ao longo do tempo; a variação total obtida com um dispositivo em particular, na mesma peça, ao medir uma única característica ao longo do tempo

Precisão

Precisão, ou variação da medição, tem dois componentes:

- **Repetibilidade**—variação devida ao dispositivo de medição ou a variação observada quando um observador mede a mesma peça repetidas vezes com o mesmo dispositivo
- **Reprodutibilidade**—variação devida ao sistema de medição ou a variação observada quando diferentes operadores medem a mesma peça usando o mesmo dispositivo

Avaliação do sistema de medição

Use um estudo de medição R&R (cruzado) para avaliar:

- Qual é o desempenho do sistema de medição na distinção das peças
- Se a medição dos operadores é consistente

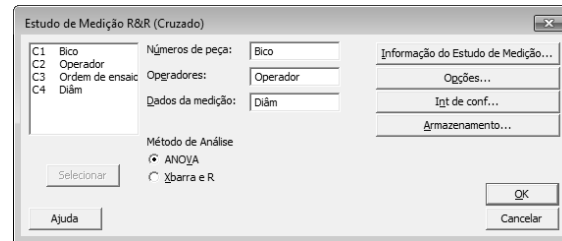
Tolerância

Os limites de especificação dos diâmetros dos bicos são de 9012 ± 4 microns. Em outras palavras, permite-se que o diâmetro do bico varie em 4 microns nas duas direções. A tolerância é a diferença entre os limites de especificação: $9016 - 9008 = 8$ microns.

Inserindo um valor em **Tolerância do processo**, é possível estimar qual proporção da tolerância é causada pela variação do sistema de medição.

Estudo de medição R&R (cruzado)

1. Abra Bico.MPJ.
2. Selecione **Estat > Ferramentas da Qualidade > Estudos de Medição > Estudo de Medição R&R (Cruzado)**.
3. Preencha a caixa de diálogo como mostrado abaixo.



4. Clique em **Opções**.
5. Em **Tolerância do processo**, selecione **Espec superior - Espec inferior** e digite 8.
6. Marque **Construir gráficos em gráficos separados, um gráfico por página**.
7. Clique em **OK** em cada caixa de diálogo.

Interpretação de seus resultados

Tabelas de Análise de variância

O Minitab usa o procedimento de análise de variância (ANOVA) para calcular componentes de variância, e depois usa esses componentes para estimar a variação percentual devido ao sistema de medição. A variação percentual aparece na tabela de medição R&R.

A tabela de ANOVA para dois fatores inclui termos para a peça (Bico), operador (Operador) e interação entre operador e peça (Bico \times Operador).

Se o valor-p para a interação entre operador e peça for $\geq 0,05$, o Minitab gera uma segunda tabela de ANOVA que omite o termo de interação para o modelo. Para alterar a taxa de erro tipo I padrão de 0,05, clique em **Opções** na caixa de diálogo principal. Em **Alfa para remover termo de interação**, digite um novo valor (por exemplo, 0,3).

Aqui, o valor-p de Bico*Operador é 0,707. Assim, o Minitab remove o termo de interação do modelo e gera uma segunda tabela de ANOVA.

Estudo de R&R da Medição - Método ANOVA

Tabela ANOVA com Dois Fatores com Interação

| Fonte | GL | SQ | QM | F | P |
|-----------------|----|---------|---------|---------|-------|
| Bico | 8 | 46,1489 | 5,76861 | 769,148 | 0,000 |
| Operador | 1 | 0,0400 | 0,04000 | 5,333 | 0,050 |
| Bico * Operador | 8 | 0,0600 | 0,00750 | 0,675 | 0,707 |
| Repetibilidade | 18 | 0,2000 | 0,01111 | | |
| Total | 35 | 46,4489 | | | |

α para remover termo de interação = 0,05

Tabela ANOVA com Dois Fatores sem Interação

| Fonte | GL | SQ | QM | F | P |
|----------------|----|---------|---------|---------|-------|
| Bico | 8 | 46,1489 | 5,76861 | 576,861 | 0,000 |
| Operador | 1 | 0,0400 | 0,04000 | 4,000 | 0,056 |
| Repetibilidade | 26 | 0,2600 | 0,01000 | | |
| Total | 35 | 46,4489 | | | |

Interpretação de seus resultados

Componentes da variância

O Minitab também calcula uma coluna de componentes da variância (CompVar) e usa os valores para calcular a % de contribuição com o método de ANOVA.

A tabela de componentes de variância divide as fontes de variabilidade total:

- **Total de R&R da Medição** consiste em:
 - **Repetibilidade**—a variabilidade das medições repetidas pelo mesmo operador.
 - **Reprodutibilidade**— a variabilidade quando a mesma peça é medida por diferentes operadores. (Isso pode ser ainda mais dividido nos componentes operador e operador por peça).
- **Peça a Peça**—a variabilidade nas medições de diferentes peças.

Por que usar componentes da variância?

Use os componentes da variância para avaliar a quantidade de variação que cada fonte de erro de medição e diferenças peça a peça contribuem para a variação total.

De maneira ideal, as diferenças entre peças devem ser responsáveis pela maior parte da variabilidade; a variabilidade da repetibilidade e reprodutibilidade deve ser muito pequena.

R&R da Medição

Componentes de Variância

| Fonte | CompVar | %Contribuição (de CompVar) |
|-------------------------|---------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,01167 | 0,80 |
| Repetibilidade | 0,01000 | 0,69 |
| Reprodutibilidade | 0,00167 | 0,11 |
| Operador | 0,00167 | 0,11 |
| Peça a Peça | 1,43965 | 99,20 |
| Varição Total | 1,45132 | 100,00 |

Interpretação de seus resultados

Porcentagem de contribuição

A % de contribuição é baseada nas estimativas dos componentes da variância. Cada valor em CompVar é dividido pela Variação total e depois multiplicado por 100.

Por exemplo, para calcular a % de Contribuição da diferença Entre peças, divida o CompVar de Entre peças pela Variação total e multiplique por 100:

$$(1,43965/1,45132) * 100 \approx 99,20$$

Dessa forma, 99,2% da variação total nas medições é devido a diferenças entre peças. Essa alta % de contribuição é considerada muito boa. Quando a % de contribuição para Entre peças é alta, o sistema consegue distinguir as peças.

Usar variância versus desvio padrão

Como a % de Contribuição é baseada na variância total, a coluna de valores chega a 100%.

O Minitab também mostra colunas com porcentagens baseadas no desvio padrão de cada termo. Essas colunas, % de variação do estudo e % de tolerância, geralmente não chegam a 100%.

Como o desvio padrão usa as mesmas unidades das medições de peças e tolerância, é possível fazer comparações significativas.

R&R da Medição

Componentes de Variância

| Fonte | CompVar | %Contribuição (de CompVar) |
|-------------------------|---------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,01167 | 0,80 |
| Repetibilidade | 0,01000 | 0,69 |
| Reprodutibilidade | 0,00167 | 0,11 |
| Operador | 0,00167 | 0,11 |
| Peça a Peça | 1,43965 | 99,20 |
| Variação Total | 1,45132 | 100,00 |

Tolerância do processo = 8

Avaliação das Medições

| Fonte | DesvPad (DP) | Var do Estudo (6 × DP) | %Var do Estudo (%VE) | % de Tolerância (VE/Toler) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,10801 | 0,64807 | 8,97 | 8,10 |
| Repetibilidade | 0,10000 | 0,60000 | 8,30 | 7,50 |
| Reprodutibilidade | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Operador | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Peça a Peça | 1,19986 | 7,19913 | 99,60 | 89,99 |
| Variação Total | 1,20471 | 7,22824 | 100,00 | 90,35 |

Número de Categorias Distintas = 15

Interpretação de seus resultados

Porcentagem da variação do estudo

Use a % de variação do estudo para comparar a variação do sistema de medição com a variação total.

O Minitab calcula a % de variação do estudo dividindo cada valor em Var. Estudo por Variação Total e depois multiplicando por 100.

%de variação do estudo para medição RR é

$$(0,64807/7,22824) * 100 \approx 8,97\%.$$

O Minitab calcula a Variação do estudo como 6 vezes o desvio padrão de cada fonte.

Variação do processo de 6s

Em geral, a variação do processo é definida como 6s, onde s é o desvio padrão como uma estimativa de σ . Quando os dados têm distribuição normal, cerca de 99,73% dos dados estão dentro de 6 desvios padrão (± 3 desvios padrão da média), e cerca de 99% dos dados estão dentro de 5,15 desvios padrão ($\pm 2,575$ desvios padrão da média).

Nota A Automotive Industry Action Group (AIAG) recomenda o uso de 6s nos estudos de medição R&R.

Avaliação das Medições

| Fonte | DesvPad (DP) | Var do Estudo (6 × DP) | %Var do Estudo (%VE) | % de Tolerância (VE/Toler) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,10801 | 0,64807 | 8,97 | 8,10 |
| Repetibilidade | 0,10000 | 0,60000 | 8,30 | 7,50 |
| Reprodutibilidade | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Operador | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Peça a Peça | 1,19986 | 7,19913 | 99,60 | 89,99 |
| Variação Total | 1,20471 | 7,22824 | 100,00 | 90,35 |

Número de Categorias Distintas = 15

Interpretação de seus resultados

Porcentagem de tolerância

É sempre útil comparar a variação do sistema de medição com a tolerância.

Se houver tolerância, o Minitab calcula a % de tolerância, que compara a variação do sistema de medição com as especificações. A % de tolerância é a porcentagem da tolerância tomada pela variabilidade do sistema de medição.

O Minitab divide a variação do sistema de medição (6σ SD da medição R&R total) pela tolerância. O Minitab multiplica a proporção resultante por 100 e refere-se a isso como % de tolerância.

% de tolerância para a medição R&R é: $(0,64807/8) * 100 \approx 8,10\%$

Qual métrica usar

Use % de tolerância ou % de variação do estudo para avaliar o sistema de medição, dependendo do sistema de medição.

- Se o sistema de medição for usado para melhoramento de processo (redução de variação entre peças), % de variação do estudo será uma melhor estimativa da precisão da medição.
- Se o sistema de medição avaliar peças relativas à especificação, % de tolerância será uma métrica mais apropriada.

Avaliação das Medições

| Fonte | DesvPad (DP) | Var do Estudo ($6 \times DP$) | %Var do Estudo (%VE) | % de Tolerância (VE/Toler) |
|-------------------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,10801 | 0,64807 | 8,97 | 8,10 |
| Repetibilidade | 0,10000 | 0,60000 | 8,30 | 7,50 |
| Reprodutibilidade | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Operador | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Peça a Peça | 1,19986 | 7,19913 | 99,60 | 89,99 |
| Variação Total | 1,20471 | 7,22824 | 100,00 | 90,35 |

Número de Categorias Distintas = 15

Interpretação de seus resultados

Total de R&R da medição

Os resultados da % de variação do estudo indicam que o sistema de medição explica menos de 10% da variação total neste estudo. Os resultados de % de tolerância indicam que a variação do sistema de medição é menor que 10% da banda da tolerância.

Medição R&R Total:

- %Var Estudo—8,97
- %Tolerância—8,10

Lembre-se que o Minitab usa diferentes divisores para calcular a % de tolerância e % de variação do estudo . Como, neste exemplo, o âmbito da tolerância é maior que o total da variação do estudo (7,22824), a % de tolerância é menor.

Avaliação das Medições

| Fonte | DesvPad (DP) | Var do Estudo (6 × DP) | %Var do Estudo (%VE) | % de Tolerância (VE/Toler) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,10801 | 0,64807 | 8,97 | 8,10 |
| Repetibilidade | 0,10000 | 0,60000 | 8,30 | 7,50 |
| Reprodutibilidade | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Operador | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Peça a Peça | 1,19986 | 7,19913 | 99,60 | 89,99 |
| Variação Total | 1,20471 | 7,22824 | 100,00 | 90,35 |

Número de Categorias Distintas = 15

Interpretação de seus resultados

Número de categorias distintas

O valor de Número de categorias distintas estima quantos grupos separados de peças o sistema consegue distinguir.

O Minitab calcula assim o número de categorias distintas que podem ser observadas com confiabilidade:

$$\frac{S_{\text{peça}}}{S_{\text{sistema de medição}}} \times \sqrt{2}$$

O Minitab trunca este valor para o inteiro, exceto quando o valor calculado é menor que 1. Neste caso, o Minitab ajusta o número de categorias distintas para 1.

| Número de categorias | Médias... |
|----------------------|--|
| < 2 | O sistema não consegue diferenciar as peças. |
| = 2 | As peças podem ser divididas nos grupos alto e baixo, como nos dados de atributos. |
| ≥ 5 | O sistema é aceitável (de acordo com a AIAG) e consegue diferenciar as peças. |

Neste caso, o número de categorias distintas é 15, indicando que o sistema consegue diferenciar as peças muito bem.

Nota A AIAG recomenda que o número de categorias distintas seja de 5 ou mais. Consulte [1] na lista de referências.

R&R da Medição

Componentes de Variância

| Fonte | CompVar | %Contribuição (de CompVar) |
|-------------------------|---------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,01167 | 0,80 |
| Repetibilidade | 0,01000 | 0,69 |
| Reprodutibilidade | 0,00167 | 0,11 |
| Operador | 0,00167 | 0,11 |
| Peça a Peça | 1,43965 | 99,20 |
| Varição Total | 1,45132 | 100,00 |

Tolerância do processo = 8

Avaliação das Medições

| Fonte | DesvPad (DP) | Var do Estudo (6 × DP) | %Var do Estudo (%VE) | % de Tolerância (VE/Toler) |
|-------------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Total de R&R da Medição | 0,10801 | 0,64807 | 8,97 | 8,10 |
| Repetibilidade | 0,10000 | 0,60000 | 8,30 | 7,50 |
| Reprodutibilidade | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Operador | 0,04082 | 0,24495 | 3,39 | 3,06 |
| Peça a Peça | 1,19986 | 7,19913 | 99,60 | 89,99 |
| Varição Total | 1,20471 | 7,22824 | 100,00 | 90,35 |

Número de Categorias Distintas = 15

Interpretação de seus resultados

Componentes da variação

A carta Componentes da Variação representa a tabela de medição R&R na saída da janela Session.

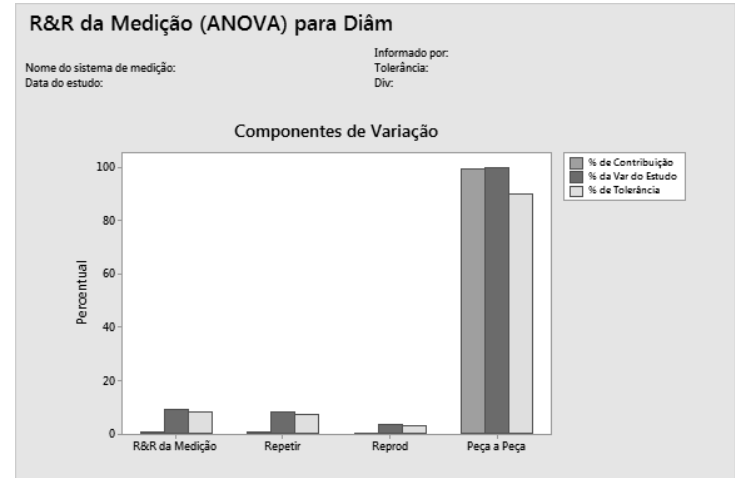
Nota Na subcaixa do diálogo **Opções**, é possível optar por exibir esses gráficos em páginas separadas.

Cada agrupamento de barras representa uma origem de variação. Como padrão, cada conglomerado tem duas barras que correspondem à % de contribuição e % de variação do estudo. Ao adicionar uma tolerância ou desvio padrão histórico, será exibida uma barra para % de tolerância ou % do processo.

Em um bom sistema de medição, o maior componente da variação é a variação peça a peça. Se, ao contrário, uma grande variação for atribuída ao sistema de medição, poderá ser necessário corrigir o sistema de medição.

Para os dados dos bicos, a diferença nas peças explica a maior parte da variação.

Nota Para as medições % do estudo, % do processo e % de tolerância, as barras Repetib e Reprod podem não ser acrescentadas à barra Medição R&R, pois estas porcentagens são baseadas em desvios padrão e não em variâncias.



Interpretação dos seus resultados

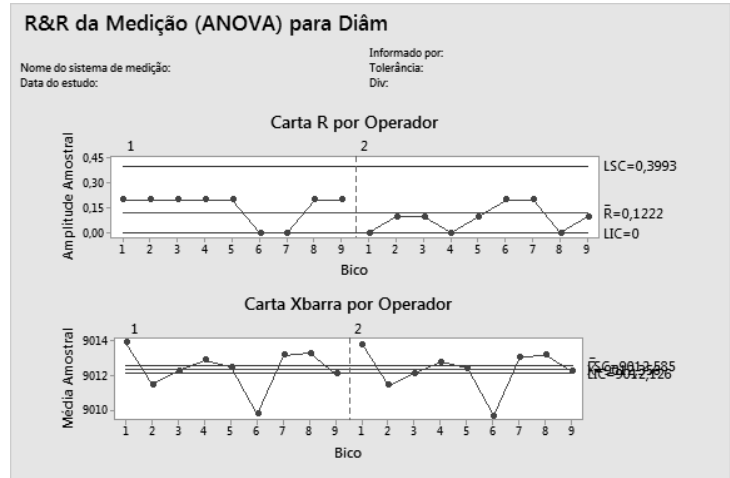
Carta R

A carta R é uma carta de controle de amplitudes que representa graficamente a consistência do operador. Uma carta R é composta por:

- Pontos no gráfico que representam, para cada operador, a diferença entre a maior e menor medição de cada peça. Se as medições forem as mesmas, amplitude = 0. O Minitab representa graficamente os pontos por operador, possibilitando a comparação da consistência de cada operador.
- Linha central, que representa a média global das amplitudes (a média de todas as amplitudes de subgrupos).
- Limites de controle (LSC e LIC) para as amplitudes do subgrupos. O Minitab usa a variação entre subgrupos para calcular esses limites,

Se algum ponto da carta R estiver acima do limite superior de controle (LSC), é sinal de que o operador não está medindo as peças de forma consistente. O LSC leva em consideração o número de vezes que cada operador mede uma peça. Se houver consistência na medição dos operadores, as amplitudes serão pequenas em relação aos dados e os pontos estarão dentro dos limites de controle.

Nota O Minitab mostra uma carta R quando o número de réplicas é menor que 9; caso contrário, o Minitab mostra uma carta S.



Interpretação dos seus resultados

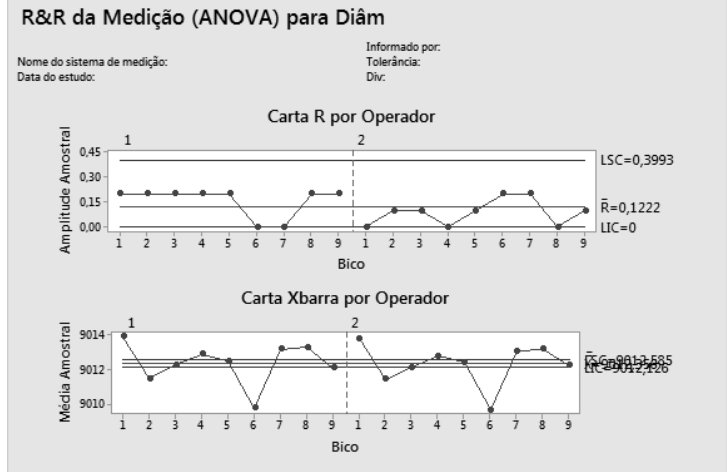
Carta Xbar

A carta Xbar compara a variação entre peças com o componentes de repetibilidade. A carta Xbar é composta por:

- Pontos no gráfico que representam, para cada operador, a medição média de cada peça.
- Linha central, que é a média geral de todas as medições de peças aferidas por todos os operadores.
- Limites de controle (LSC e LIC), que se baseiam no número de medições em cada média e na estimativa de repetibilidade.

Como as peças escolhidas para um estudo de medição (gage) R&R devem representar toda a gama de peças possíveis, este gráfico idealmente exibiria falta de controle. É desejável observar mais variação entre médias de peças do que é esperado apenas pela variação de repetibilidade.

Nestes dados, muitos pontos estão acima ou abaixo dos limites de controle. Estes resultados indicam que a variação entre peças é muito maior que a variação do dispositivo de medição.



Interpretação de seus resultados

Interação entre operador e peça

O gráfico de interação Bico × Operador mostra as medições médias de cada operador para cada peça. Cada linha conecta as médias de um único operador.

De maneira ideal, as linhas são quase idênticas e as médias das peças variam o suficiente para que as diferenças entre peças sejam claras.

Este padrão...

As linhas são quase idênticas.

Indica...

Os operadores estão medindo as peças de forma similar.

Uma linha está claramente acima ou abaixo das outras.

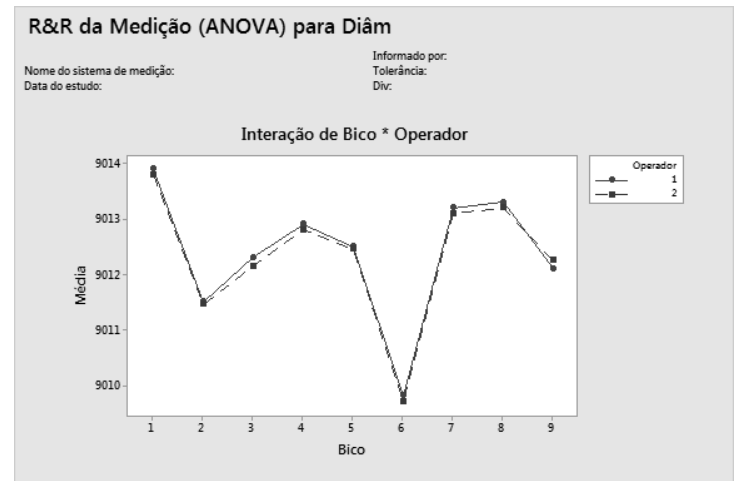
Um operador está medindo as peças com uma consistência maior ou menor que os outros.

As linhas não são paralelas, ou se cruzam.

A capacidade de um operador em medir uma peça depende de qual peça está sendo medida (existe uma interação entre operador e peça).

Neste caso, as linhas estão bastante próximas entre si e as diferenças entre peças são claras. Os operadores parecem estar medindo as peças de forma semelhante.

Nota Da tabela ANOVA na página 8, o valor-p da interação é 0,707, o que indica que a interação não é significativa no nível $\alpha = 0,05$.



Interpretação dos seus resultados

Medições por operador

O gráfico Por operador ajuda a determinar quais medições e variabilidade são consistentes em todos os operadores.

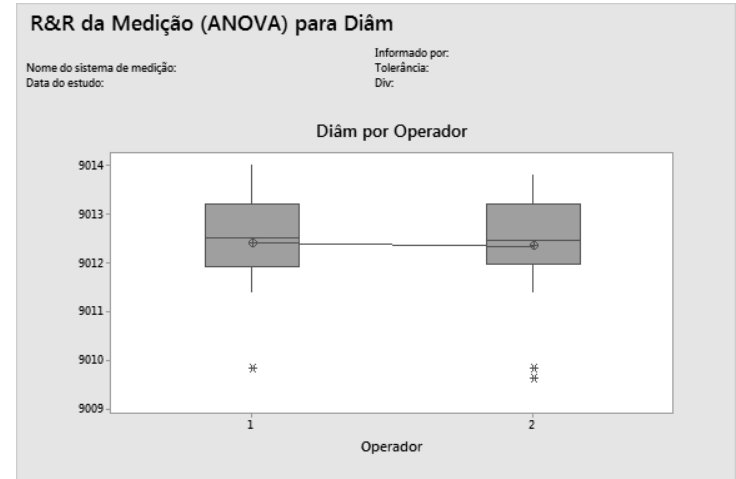
O gráfico Por operador exibe todas as medições do estudo, organizadas por operador. Quando houver até nove medições para cada operador, as medições serão representadas por pontos. Quando houver mais de nove medições para cada operador, o Minitab exibirá um boxplot. Para ambos os tipos de gráficos, círculos pretos representam as médias e uma linha os conecta.

| Se a linha for... | Então... |
|------------------------|--|
| Paralela ao eixo x | Os operadores estão medindo as peças de forma similar, em média. |
| Não paralela ao eixo x | Os operadores estão medindo as peças de forma diferente, em média. |

Use este gráfico também para avaliar se a variabilidade geral nas medições de peças de cada operador é a mesma:

- A dispersão nas medições é semelhante?
- As medições de um operador varia mais que a dos outros?

Neste caso, os operadores parecem estar medindo as peças de forma consistente, quase com a mesma variação.



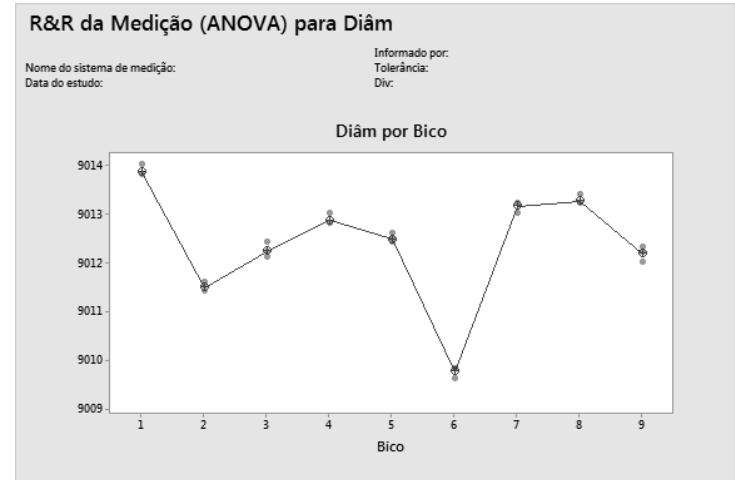
Interpretação de seus resultados

Medições por peça

O gráfico Por bico mostra todas as medições no estudo organizadas por peça. O Minitab representa as medições como círculos vazios e as médias como círculos cheios. A linha conecta as médias de medições para cada peça.

De forma ideal:

- Várias medições para cada peça mostram pouca variação (os círculos vazios para cada peça estão próximos)
- As médias variam o suficiente para que as diferenças entre peças fiquem claras.



Considerações finais

Resumo e conclusões

O sistema de medição de bicos contribui muito pouco para a variação total, conforme a confirmação da tabela e gráficos de medição (gage) R&R.

A variação causada pelo sistema de medição, como porcentagem da variação do estudo ou como porcentagem da tolerância, é menor que 10%. De acordo com as diretrizes da AIAG, este sistema é aceitável.

Considerações adicionais

Os estudos de medição (gage) R&R (cruzados), como outros procedimentos de análise de sistema de medição (MSA), são experimentos planejados. Para obter resultados válidos, aleatorização e amostragem representativa são essenciais.

Considerações finais

Considerações adicionais

Os padrões do gráfico mostram baixa variação no sistema de medição:

| Gráfico | Padrão |
|-------------------|--|
| R | Pequena amplitude média |
| Carta Xbarra | Limites de controle estreitos e muitos pontos fora de controle |
| Por peça | Medições muito similares para cada peça em todos os operadores e claras diferenças entre peças |
| Por operador | Linha reta horizontal |
| Operador por peça | Linhas sobrepostas |

Para a % de contribuição, as diretrizes da AIAG são:

| %Contribution | O sistema está... |
|---------------|--|
| 1% ou menos | Aceitável |
| 1% a 9% | Potencialmente aceitável (depende da importância da medição, custos, riscos, etc.) |
| Maior que 9% | Inaceitável |

As diretrizes da AIAG para a tabela de medição R&R são:

| % de tolerância, % de variação do estudo % do processo | O sistema está... |
|--|--|
| Abaixo de 10% | Aceitável |
| 10% a 30% | Potencialmente aceitável (depende da importância da medição, custos, riscos, etc.) |
| Acima de 30% | Inaceitável |

Fonte: [1] na lista de referências.