

Estudo de sistema de medição (gage) R&R (cruzado)

Visão geral

Os estudos do sistema de medição são realizados em praticamente cada tipo de indústria de manufatura para monitorar e aprimorar adequadamente um processo de produção. Em um estudo do sistema de medição típico, uma medição é usada para obter medições repetidas nas partes selecionadas por diversos operadores. Dois componentes da variabilidade do sistema de medição são frequentemente gerados nesses estudos: repetibilidade e reprodutibilidade. A repetibilidade representa a variabilidade quando a medição é usada para medir a mesma parte pelo mesmo operador. A reprodutibilidade se refere à variabilidade de diferentes operadores medindo a mesma parte. Desta forma, os estudos do sistema de medição são frequentemente mencionados como estudos de repetibilidade e reprodutibilidade de medição ou estudos de medição R&R.

O propósito principal de um estudo de medição é determinar quanta variação nos dados é devida ao sistema de medição, e se o sistema de medição é capaz de avaliar o desempenho do processo. Para discussões detalhadas sobre os estudos do sistema de medição, consulte o manual MSA (2003), Montgomery and Runger (1993), e Burdick, Borror, and Montgomery (2005).

O comando do Estudo de medição R&R (cruzado) no Assistente foi projetado para analisar dados de estudos de sistemas de medição típicos. Ele adota a abordagem mais comum de ajustar os dados de medição com um modelo ANOVA e estima as diferentes fontes de variação no sistema de medição usando os componentes de variância do modelo.

Se você usar as diretrizes típicas para a quantidade de dados a ser coletada para estudos de medição R&R, os componentes da variância podem não ser precisamente estimados (Montgomery and Runger, 1993a, 1993b; Vardeman and VanValkenburg, 1999). O assistente

indica se o número de partes e o número de operadores são menores do que determinados valores, que podem afetar a precisão das estimativas de variação parte a parte e de operador. Conduzimos simulações para identificar o número de partes, operadores e réplicas que são necessários para obter estimativas precisas.

Usando nossos resultados da simulação e práticas amplamente aceitas na análise do sistema de medição, desenvolvemos as seguintes verificações de dados para o Estudo de medição R&R (cruzado). O assistente automaticamente realiza essas verificações de dados e relata os achados no Cartão de relatório.

- Quantidade de dados
 - Variação do processo
 - Variação de medição

Neste artigo, investigamos como essas verificações de dados se referem à análise do sistema de medição na prática e descrevemos como estabelecemos as diretrizes para cada verificação de dados.

Verificações dos dados

Quantidade de dados

Tipicamente, as diretrizes para estudos de medição R&R recomendam o uso de 10 partes, 2 ou 3 operadores, e 2 ou 3 réplicas (AIAG, 2003; Raffaldi and Ramsier, 2000; Tsai, 1988). Contudo, o tamanho amostral recomendado não é grande o suficiente para estimar a variação parte a parte com boa precisão e, portanto, pode não fornecer uma boa base para avaliar se deve-se ou não usar uma determinada medição (Montgomery and Runger, 1993a, 1993b; Vardeman and VanValkenburg, 1999).

Para estabelecer diretrizes para a quantidade de dados apropriada, focamos em quantas partes devem ser avaliadas para obter estimativas de variação parte a parte com diferentes níveis de precisão. Também avaliamos quantos operadores deve ser usados para obter uma estimativa precisa da variação da medição. Por fim, investigamos o número de observações necessárias para obter estimativas de repetibilidade de medição com diferentes precisões.

Número de partes para estimar a variação parte a parte com diferentes níveis de precisão

Objetivo

Queríamos determinar quantas partes devem ser avaliadas para obter estimativas de variação parte a parte com diferentes níveis de precisão.

Método

Realizamos um estudo de simulação usando 5.000 amostras. Para todas as amostras, estimamos o desvio padrão das partes e calculamos a relação do desvio padrão estimado para o desvio padrão real. Ordenamos as razões de baixa a alta e usamos as razões 125^a e 4.875^a para definir o intervalo de confiança de 95%; e as razões 250^a e 4.750^a para definir o intervalo de confiança de 90%. Usando esses intervalos de confiança, identificamos quantas partes são necessárias para estimar a variação parte a parte com diferentes níveis de precisão.

Resultados

Com base no estudo de simulação, concluímos o seguinte:

- Usando-se 10 partes, 3 operadores e 2 réplicas, a razão do intervalo de confiança de 90% sobre o desvio padrão real é de cerca de (0,61, 1,37) com 35% a 40% de margem de erro. Com confiança de 95%, o intervalo é de cerca de (0,55, 1,45) com 45% de margem de erro. Portanto, 10 partes não são suficientes para produzir uma estimativa precisa para o componente de variação parte a parte.
- Você precisa de aproximadamente 35 partes para ter uma confiança de 90% ao estimar a variação parte a parte dentro de 20% do valor real.

- Você precisa de aproximadamente 135 partes para ter uma confiança de 90% ao estimar a variação parte a parte dentro de 10% do valor real.

Determinamos também que esses resultados se aplicam a medições aceitáveis, marginais e inaceitáveis.

Consulte o Apêndice A para obter uma explicação detalhada da simulação e de seus resultados.

Número de operadores para estimar a variação parte a parte com diferentes níveis de precisão

Objetivo

Queríamos determinar quantos operadores devem avaliar partes para obter estimativas de variação de operador com diferentes níveis de precisão.

Método

O desvio padrão das partes e o desvio padrão de operadores são ambos estimados usando-se o modelo ANOVA. Portanto, o método usado na simulação para o número de partes para estimar a variação parte a parte, também se aplica ao número de operadores para estimar a variação entre operadores.

Resultados

Dois ou três operadores não são suficientes para fornecer uma estimativa precisa para reprodutibilidade. Contudo, o problema é menos crítico se a magnitude da variação de parte a parte é muito maior do que a variação entre operadores, que é um cenário provável para diversas aplicações.

Consulte o Apêndice A para obter uma explicação detalhada da simulação e de seus resultados.

Número de observações para estimar a repetibilidade com diferentes níveis de precisão

Objetivo

Queríamos determinar como o número de observações afeta a estimativa da repetibilidade e se 10 partes, 3 operadores e 2 réplicas podem fornecer uma estimativa razoavelmente precisa para variação de repetibilidade.

Método

A razão do desvio padrão de repetibilidade estimada sobre seu valor real segue uma distribuição qui-quadrado. Para determinar o número de observações necessário para obter uma estimativa razoavelmente precisa da repetibilidade, calculamos os limites inferior e

superior da razão associada com a probabilidade de 90% e representamos graficamente os resultados.

Resultados

Em um estudo de medição típico (por exemplo, número de partes = 10, número de operadores = 3 e número de réplicas = 2), os graus de liberdade para erro correspondem a 30, o que permite que você tenha cerca de 90% de confiança ao estimar a repetibilidade dentro de 20% do valor real. Sob configurações típicas, a estimativa para repetibilidade é razoavelmente precisa. Consulte o Apêndice B para obter mais detalhes.


Resultados gerais

Nossos estudos indicam claramente que as configurações típicas usadas em um estudo de medição não são boas o bastante para fornecer estimativas precisas para variação parte a parte e variação de reprodutibilidade, que afetam a razão da variação da medição sobre a variação do processo total e, por fim, a decisão sobre se a medição é aceitável. Tipicamente, a variação parte a parte é maior do que a variação da reprodutibilidade e, portanto, sua precisão tem um impacto maior sobre a aceitação ou não de uma medição. Contudo em diversas aplicações, pode não ser factível selecionar 35 ou mais partes e fazer com que múltiplos operadores as meçam duas vezes.

Considerando-se as configurações típicas de medição R&R usadas na prática e em nossos resultados de simulação, o assistente usa as seguintes abordagens para encorajar os usuários a obter estimativas precisas para os componentes de variação:

1. Forneça uma opção na caixa de diálogo para permitir que os usuários insiram uma estimativa da variação do processo obtida a partir de um amplo conjunto de dados históricos. Na maioria dos casos, a estimativa de um amplo conjunto de dados históricos tem melhor precisão do que a estimativa dos dados amostrais.
2. Se a estimativa do histórico não estiver disponível, e o número de partes for pequeno, exibiremos uma mensagem para lembrar aos usuários para selecionar mais de 10 partes para obter estimativas mais precisas.

Com base na quantidade de dados, o Cartão de relatórios do Assistente exibe informações sobre variação do processo e variação da medição. Por exemplo, se você usa 10 partes e 3 operadores e especifica um desvio padrão histórico, a seguinte verificação de dados é exibida no Cartão de relatório:

Status	Condição
	<p>Para determinar se um sistema de medição é capaz de avaliar o desempenho do processo, você precisa de boas estimativas da variação do processo e da variação da medição.</p> <p>Varição do processo: composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você inseriu um desvio padrão histórico, por tanto, ambas as estimativas estão disponíveis. Você pode compará-las para ver quão bem elas concordam. Apesar de o número de partes deste estudo (10) satisfazer o requisito típico de 10, o valor histórico deve fornecer uma estimativa mais precisa da variação do processo.</p> <p>Varição de medição: estimada das partes, ela é dividida em Reprodutibilidade e Repetibilidade. O número de partes (10) e operadores (3) atende o requisito típico de 10 partes e 3 operadores. Isso é normalmente adequado para estimar a repetibilidade, mas a estimativa de reprodutibilidade é menos precisa. Se a estimativa de % de processo para reprodutibilidade for grande, você deve examinar as diferenças entre operadores e determinar se essas diferenças são prováveis de se estenderem para outros operadores.</p>

A seguir estão todas as mensagens para diversas configurações de partes, operadores e réplicas.

VARIAÇÃO DO PROCESSO

Desvio padrão histórico (partes < 10)

- **Varição do processo:** composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você inseriu um desvio padrão histórico, por tanto, ambas as estimativas estão disponíveis. Você pode compará-las para ver quão bem elas concordam. Como o número de partes deste estudo é pequeno, o valor histórico deve fornecer uma estimativa mais precisa da variação do processo.

Desvio padrão histórico (partes ≥ 10 , ≤ 15)

- **Varição do processo:** composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você inseriu um desvio padrão histórico, por tanto, ambas as estimativas estão disponíveis. Você pode compará-las para ver quão bem elas concordam. Apesar de o número de partes deste estudo satisfazer o requisito típico de 10, o valor histórico deve fornecer uma estimativa mais precisa da variação do processo.

Desvio padrão histórico (partes > 15, < 35)

- **Varição do processo:** composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você inseriu um desvio padrão histórico, por tanto, ambas as estimativas estão disponíveis. Você pode compará-las para ver quão bem elas concordam. O número de partes neste estudo é muito maior do que o requisito típico de 10. Se as

partes selecionadas representam a variabilidade típica do processo, essa estimativa da variação do processo deve ser muito melhor do que se você tivesse usado 10 partes.

Desvio padrão histórico (partes ≥ 35)

- Variação do processo: composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você inseriu um desvio padrão histórico, por tanto, ambas as estimativas estão disponíveis. Você pode compará-las para ver quão bem elas concordam. O número de partes neste estudo é muito maior do que o requisito típico de 10. Se as partes selecionadas representam a variabilidade típica do processo, essa estimativa da variação do processo deve ser adequada.

Nenhum desvio padrão histórico (partes < 10)

- Variação do processo: composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você escolhe estimar das partes, mas tem menos do que o requisito típico de 10. A precisão desta estimativa pode não ser adequada. Se as partes selecionadas não representam a variabilidade típica do processo, considere inserir uma estimativa histórica ou usar mais partes.

Nenhum desvio padrão histórico (partes $\geq 10, \leq 15$)

- Variação do processo: composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você escolhe estimar das partes. Apesar de o número de partes deste estudo satisfazer o requisito típico de 10, a estimativa pode não ser precisa. Se as partes selecionadas não representarem a variabilidade típica do processo, considere inserir uma estimativa histórica ou usar mais partes.

Nenhum desvio padrão histórico (partes $> 15, < 35$)

- Variação do processo: composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você escolhe estimar das partes. O número de partes neste estudo é muito maior do que o requisito típico de 10. Se as partes selecionadas representam a variabilidade típica do processo, essa estimativa da variação do processo deve ser muito melhor do que se você tivesse usado 10.

No historical standard deviation (parts ≥ 35)

- Variação do processo: composto de variação da medição e parte a parte. Ela pode ser estimada a partir de uma grande amostra de dados históricos, ou de partes do estudo. Você escolhe estimar das partes. O número de partes neste estudo é muito maior do que o requisito típico de 10. Se as partes selecionadas representam a variabilidade típica do processo, essa estimativa da variação do processo deve ser adequada.

VARIAÇÃO DE MEDIÇÃO

Operadores ≤ 2 ou Partes < 10

- Variação de medição: estimada das partes, ela é dividida em Reprodutibilidade e Repetibilidade. O número de partes e operadores não atende o requisito típico de 10 partes e 3 operadores. As estimativas de variação de

Operadores ≥ 3 e ≤ 5 e partes ≥ 10

- Variação de medição: estimada das partes, ela é dividida em Reprodutibilidade e Repetibilidade. O número de partes e operadores não atende o requisito típico de 10 partes e 3 operadores. Isso é normalmente adequado para estimar a repetibilidade, mas a estimativa de reprodutibilidade é menos precisa. Se a estimativa de % de processo para reprodutibilidade for grande, você deve examinar as diferenças entre operadores e determinar se essas diferenças são prováveis de se estenderem para outros operadores.

Operadores > 5 e partes ≥ 10

- Variação de medição: estimada das partes, ela é dividida em Reprodutibilidade e Repetibilidade. O número de partes e operadores atende o requisito típico de 10 partes e 3 operadores. e é normalmente adequado para estimar a repetibilidade. O operador adicional melhora a precisão da estimativa de reprodutibilidade.

Referências

- Burdick, R.K., Borror, C. M., and Montgomery, D.C. (2005). *Design and analysis of gauge R&R studies: Making decisions with confidence intervals in random and mixed ANOVA models*. Philadelphia, PA: Society for Industrial Applied Mathematics (SIAM).
- Automotive Industry Action Group (AIAG) (2003). *Measurement systems analysis (MSA) manual (3rd edition)*. Southfield, MI: Chrysler, Ford, General Motors Supplier Quality Requirements Task Force.
- Montgomery, D.C. *Design and Analysis of Experiments*. New York, NY: Wiley.
- Montgomery, D.C., and Runger, G.C. (1993 a). Gage capability and designed experiments. Part I: Basic methods. *Quality Engineering*, 6 (1993/1994), 115 – 135.
- Montgomery, D.C., and Runger, G.C. (1993 b). Gage capability analysis and designed experiments. Part II: Experimental design models and variance component estimation. *Quality Engineering*, 6 (1993/1994), 289-305.
- Raffaldi, J. and Ramsier, S. (2000). 5 ways to verify your gages. *Quality Magazine*, 39 (3), 38-42.
- Tsai, P. (1988). Variable gage repeatability and reproducibility study using the analysis of variance method. *Quality Engineering*, 1(1), 107-115.
- Vardeman, S.B. and VanValkenburg, E.S. (1999). Two-way random-effects analyses and gage R&R studies. *Technometrics*, 41 (3), 202-211.

Apêndice A: Avaliação do efeito das partes na variação parte a parte

Como não existe uma fórmula exata para calcular o intervalo de confiança para o desvio padrão parte a parte, realizamos uma simulação para estimar o intervalo. Para focar a simulação em como o número de partes afeta a precisão da variação estimada parte a parte, examinamos a razão do intervalo de confiança estimado para o desvio padrão das partes sobre o desvio padrão real das partes. Conforme o número de partes aumenta, o intervalo torna-se mais estreito. Depois, identificamos o número de partes de forma que a margem de erro para a razão seja de 10% ou 20%. O intervalo da margem de erro de 10% é (0,9, 1,1) e da margem de erro de 20% é (0,8, 1,2).

Configuração da simulação

O estudo de medição R&R supõe que a medição $k^{\text{ésima}}$ da parte $i^{\text{ésima}}$ pelo operador $j^{\text{ésimo}}$, definido como Y_{ijk} , se ajusta ao modelo a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Em que

$$i = 1, \dots, I, j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K, \text{ e}$$

α_i , β_j , γ_{ij} e ε_{ijk} são distribuídos, normalmente, independentemente, com média 0 e variâncias de σ_P^2 , σ_O^2 , σ_{OP}^2 e σ_e^2 . Aqui α_i , β_j , γ_{ij} e ε_{ijk} representam partes, operadores, partes x operadores e termos de erro.

Permita que r seja a razão do desvio padrão da medição total sobre o desvio padrão do total do processo. Então,

$$\begin{aligned} r &= \frac{\sqrt{\text{Variância da repetibilidade} + \text{Variância da reprodutibilidade}}}{\sqrt{\text{Variância das partes} + \text{Variância a repetibilidade} + \text{Variância da reprodutibilidades}}} \\ &= \frac{\sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_O^2 + \sigma_{PO}^2}}{\sqrt{\sigma_P^2 + \sigma_e^2 + \sigma_O^2 + \sigma_{PO}^2}} \end{aligned}$$

Tipicamente, a regra a seguir é usada para determinar se o sistema de medição é aceitável:

$r \leq 0,1$ (10%): aceitável

$0,1 < r \leq 0,3$: marginal

$0,3 < r$: inaceitável

Escolhemos $r = 0,1$ (aceitável), $r = 0,25$ (marginal) e $r = 0,35$ (inaceitável) para definir as três regiões. Para o propósito da simulação, assumimos que a variância de repetibilidade é igual a variância de reprodutibilidade, que dá:

$$\frac{\sqrt{\sigma_e^2 + \sigma_e^2}}{\sqrt{\sigma_P^2 + 2\sigma_e^2}} = r \Rightarrow \sigma_P = \frac{\sqrt{(2 - 2r^2)}}{r} \sigma_e$$

Usamos $\sigma_e=0,001$ e 1 , $\sigma_0^2 = \sigma_{p0}^2 = 0,5\sigma_e^2$ e $\sigma_p = \frac{\sqrt{(2-2r^2)}}{r} \sigma_e$ para gerar as observações e assumir que 3 operadores medem cada parte duas vezes para avaliar como o número de partes afetam o desvio padrão das partes.

Essas são etapas de simulação que seguimos para cada número de partes, r e σ_e :

1. Gerar 5.000 amostras usando o modelo acima.
2. Estimar desvio padrão da parte e calcular a razão do desvio padrão estimado sobre o desvio padrão verdadeiro para todas as 5.000 amostras.
3. Ordene as 5.000 razões em ordem crescente. Das 5.000 razões ordenadas, as razões 125^a e 4.875^a representam os limites inferior e superior do intervalo no nível de confiança de 95%, e as razões 250^a e 4.750^a representam os limites inferior e superior do intervalo no nível de confiança de 90%.
4. Examine os intervalos para identificar o número de partes, de tal forma, que a margem de erro seja de 10% ou 20%. O intervalo da margem de erro de 10% é (0,9, 1,1). O intervalo da margem de erro de 20% é (0,8, 1,2).

Resultados da simulação

Os resultados nas Tabelas 1-6 mostram os resultados da simulação em cada nível de confiança para diferentes números de partes, com cada tabela correspondendo a uma combinação específica de valores para r e σ_e . No geral, esses resultados mostram que/:

- Usando-se 10 partes, 3 operadores e 2 réplicas, a razão do intervalo de confiança de 90% sobre o desvio padrão real é de cerca de (0,61, 1,37) com 35% a 40% de margem de erro. No nível de confiança de 95%, o intervalo é de cerca de (0,55, 1,45), com margem de erro de 45%. Portanto, 10 partes não são suficientes para produzir uma estimativa precisa para o componente de variação parte a parte.
- Você precisa de aproximadamente 35 partes para ter uma confiança de 90% ao estimar a variação parte a parte dentro de 20% do valor real.
- Você precisa de aproximadamente 135 partes para ter uma confiança de 90% ao estimar a variação parte a parte dentro de 10% do valor real.

Observe que este resumo dos resultados não é específico de uma determinada combinação de r e de σ_e . As linhas correspondentes aos resultados com marcações acima, são realçadas nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 a seguir.

Tabela 1 Medição aceitável ($r = 0,1$), $\sigma_e = 0,001$, desvpad da parte real = 0,014071247

Número de partes	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
	Confiança de 95%	Confiança de 90%
3	(0,15295, 1,93755)	(0,22195, 1,73365)
5	(0,34415, 1,67035)	(0,41861, 1,53873)

	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
Número de partes	Confiança de 95%	Confiança de 90%
10	(0,55003, 1,44244)	(0,60944, 1,36992)
15	(0,63295, 1,36927)	(0,68721, 1,30294)
20	(0,68532, 1,31187)	(0,7295, 1,25701)
25	(0,7123, 1,27621)	(0,75578, 1,23251)
30	(0,74135, 1,24229)	(0,77645, 1,20841)
35	(0,76543, 1,23033)	(0,80066, 1,19706)
50	(0,79544, 1,20337)	(0,82636, 1,16595)
100	(0,85528, 1,13696)	(0,88063, 1,11635)
135	(0,87686, 1,12093)	(0,89448, 1,09760)
140	(0,88241, 1,11884)	(0,90130, 1,09974)

Tabela 2 Medição aceitável ($r = 0,1$), $\sigma_e = 1$, desvpad de parte real = 14,071247

	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
Número de partes	Confiança de 95%	Confiança de 90%
5	(0,34656, 1,68211)	(0,42315, 1,5588)
10	(0,55496, 1,45382)	(0,61319, 1,38233)
15	(0,63484, 1,36949)	(0,68767, 1,30505)
35	(0,76233, 1,23513)	(0,79749, 1,19623)
40	(0,77256, 1,21518)	(0,81224, 1,18121)
135	(0,88017, 1,12345)	(0,89883, 1,10249)
140	(0,88004, 1,11725)	(0,89787, 1,09713)
145	(0,88281, 1,11886)	(0,89966, 1,09583)
150	(0,88302, 1,11132)	(0,90096, 1,09296)

Tabela 3 Medição marginal ($r = 0,25$), $\sigma_e = 0,001$, desvpad parte real = 0,005477225575

	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
Número de partes	Confiança de 95%	Confiança de 90%
30	(0,73879, 1,25294)	(0,77982, 1,21041)
35	(0,75881, 1,24383)	(0,79848, 1,20068)
40	(0,77281, 1,22813)	(0,80369, 1,18788)
135	(0,87588, 1,1191)	(0,89556, 1,10093)
140	(0,87998, 1,12001)	(0,89917, 1,09717)
145	(0,881, 1,11812)	(0,89852, 1,09710)
150	(0,88373, 1,11563)	(0,90345, 1,09706)

Tabela 4 Medição marginal ($r = 0,25$), $\sigma_e = 1$, desvpad parte real = 5,477225575

	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
Número de partes	Confiança de 95%	Confiança de 90%
30	(0,74292, 1,25306)	(0,78159, 1,20872)
35	(0,76441, 1,24391)	(0,79802, 1,20135)
40	(0,77525, 1,21339)	(0,80786, 1,17908)
135	(0,87501, 1,11711)	(0,89512, 1,09758)
140	(0,87934, 1,11756)	(0,89881, 1,09862)
145	(0,88308, 1,1153)	(0,90056, 1,09806)

Tabela 5 Medição inaceitável ($r = 0,35$), $\sigma_e = 0,001$, desvpad parte real = 0,00378504

	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
Número de partes	Confiança de 95%	Confiança de 90%
30	(0,74313, 1,25135)	(0,77427, 1,20568)
35	r(0,75409, 1,24332)	(0,79444, 1,19855)
40	(0,76582, 1,22289)	(0,80599, 1,18615)
135	(0,87641, 1,12043)	(0,89507, 1,09820)

	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
Número de partes	Confiança de 95%	Confiança de 90%
140	(0,87635, 1,11539)	(0,89651, 1,09368)
145	(0,88339, 1,11815)	(0,89772, 1,09591)

Tabela 6 Medição inaceitável ($r = 0,35$), $\sigma_e = 1$, desvpad parte real = 3,78504

	Razão do intervalo de confiança estimado para desvpad da parte/desvpad da parte real	
Número de partes	Confiança de 95%	Confiança de 90%
30	(0,7375, 1,261)	(0,77218, 1,21285)
35	(0,74987, 1,23085)	(0,79067, 1,1886)
40	(0,77187, 1,2227)	(0,80648, 1,18329)
135	(0,87572, 1,11877)	(0,89409, 1,09827)
140	(0,87798, 1,11634)	(0,8959, 1,09695)
145	(0,87998, 1,11513)	(0,89683, 1,09534)

Número de operadores

O desvio padrão das partes e o desvio padrão de operadores são estimados identicamente, usando-se o modelo ANOVA. Portanto, os resultados da simulação em partes também se aplicam à variação de reprodutibilidade. Dois ou três operadores não são suficientes para fornecer uma estimativa precisa para reprodutibilidade. Contudo, o problema é menos crítico para operadores, se a magnitude da variação de parte a parte for muito maior do que a variação de operador, que é um cenário provável para diversas aplicações.

Por exemplo, suponha que o desvio padrão parte a parte é 20 vezes o desvio padrão do operador. O desvio padrão da parte é 20, e o desvio padrão do operador é 1. Supondo-se que a repetibilidade seja a mesma que a reprodutibilidade, a razão real da variação do sistema de medição sobre a variação total do processo é:

$$\sqrt{\frac{1 + 1}{400 + 1 + 1}} = 0,0705$$

Agora, suponha que a margem de erro para estimativa do desvio padrão do operador é 40% (alta). Isto é, o desvio padrão do operador estimado poderia ser 1,4. Portanto, a razão do sistema de medição geral, o total torna-se:

$$\sqrt{\frac{1,4^2 + 1,4^2}{400 + 1,4^2 + 1,4^2}} = 0,0985$$

Como esse valor é menor do que 0,10, uma grande variação de reprodutibilidade não afeta a aceitação de medição se 10% for o valor de corte.

Se a variação do operador for praticamente a mesma que a variação da parte, você precisará de um grande número de operadores para representar o sistema de medição e para avaliar a medição com exatidão.

Apêndice B: Estimando a repetibilidade

Configuração do cálculo

Diferente dos intervalos de confiança para o desvio padrão parte a parte, que são baseados em uma aproximação, a razão do desvio padrão estimado da repetibilidade sobre seu valor real segue uma distribuição qui-quadrado. Portanto, podemos calcular os limites inferior e superior da razão associada com a probabilidade de 90%, e depois avaliar como ambos os limites se aproximam de 1 conforme o número de partes, o número de operadores e o número de réplicas aumentam.

Usando a mesma notação definida no Apêndice A, a variância de repetibilidade é estimada por

$$S^2 = \sum (Y_{ijk} - \bar{Y}_{ij.})^2 / IJ(K - 1)$$

Desta forma, $\frac{IJ(K-1)S^2}{\sigma_e^2}$ segue uma distribuição qui-quadrado com $IJ(K-1)$ graus de liberdade (gl), onde I é o número de partes, J é o número de operadores, e K é o número de réplicas.

Com base neste resultado, a razão do desvio padrão estimado sobre seu valor real satisfaz a seguinte equação de probabilidade:

$$\text{Probabilidade} \left(\sqrt{\frac{\chi_{gl, \alpha/2}^2}{gl}} \leq \frac{S}{\sigma_e} \leq \sqrt{\frac{\chi_{gl, 1-(\alpha/2)}^2}{gl}} \right) = 1 - \alpha$$

em que $gl = IJ(K-1)$ = número de partes * número de operadores * (número de réplicas - 1). Se o número de réplicas for igual a 2, os graus de liberdade serão iguais ao número de partes vezes o número de operadores.

Ao usar esta fórmula, para cada valor dado dos graus de liberdade, calculamos os limites inferior e superior da razão $\frac{S}{\sigma_e}$ a uma probabilidade de 90%. Depois, identificamos os graus de liberdade de forma que o desvio padrão estimado esteja dentro de 10% e 20% de seu valor real. O intervalo correspondente é (0,9, 1,1) para a margem de erro de 10% e (0,8, 1,2) para a margem de erro de 20%.

Resultados dos cálculos

O gráfico da Figura 1 mostra os limites inferior e superior da razão $\frac{S}{\sigma_e}$ a uma probabilidade de 90% versus os graus de liberdade, com os graus de liberdade variando de 1 a 200.

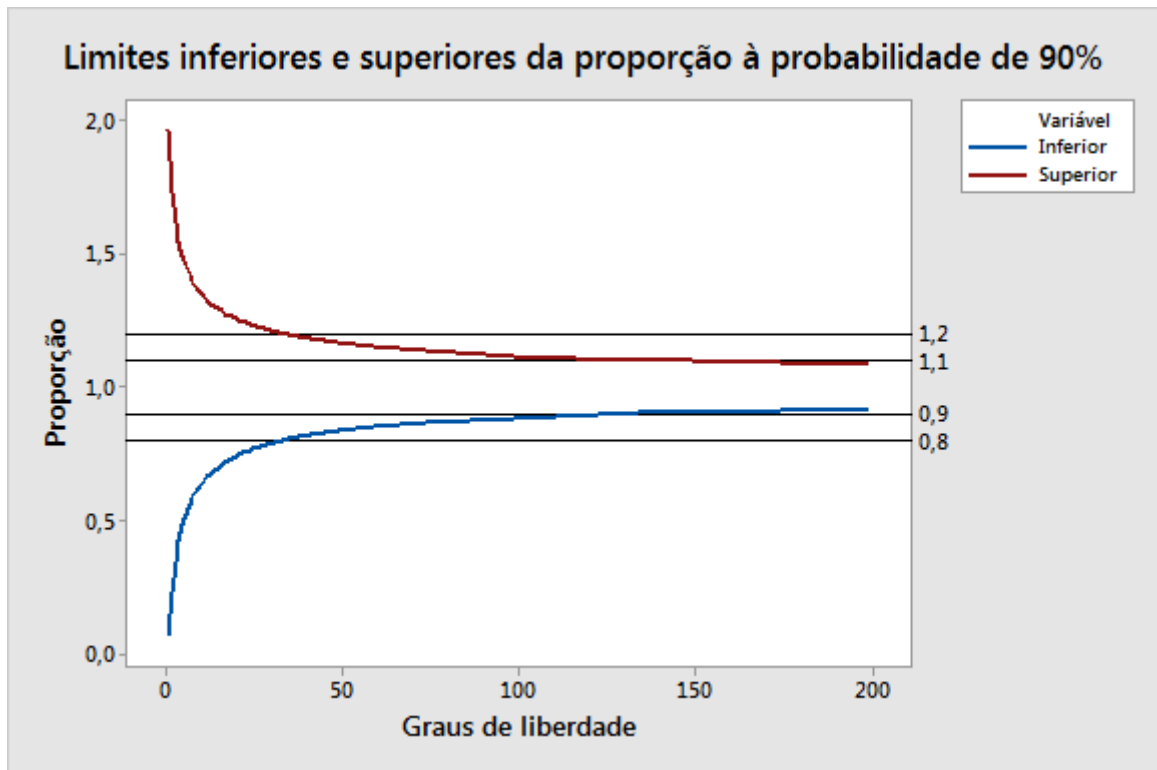


Figura 1 Limites inferior e superior de $\frac{S}{\sigma_e}$ a uma probabilidade de 90% versus graus de liberdade (1 a 200)

Observe que o intervalo formado pelos limites inferior e superior diminui conforme os graus de liberdade aumentam. A largura do intervalo diminui dramaticamente conforme os graus de liberdade aumentam de 1 para 50. Podemos ver isso mais claramente no gráfico ampliado, mostrado na Figura 2, que exibe os resultados de graus de liberdade de 1 a 50.

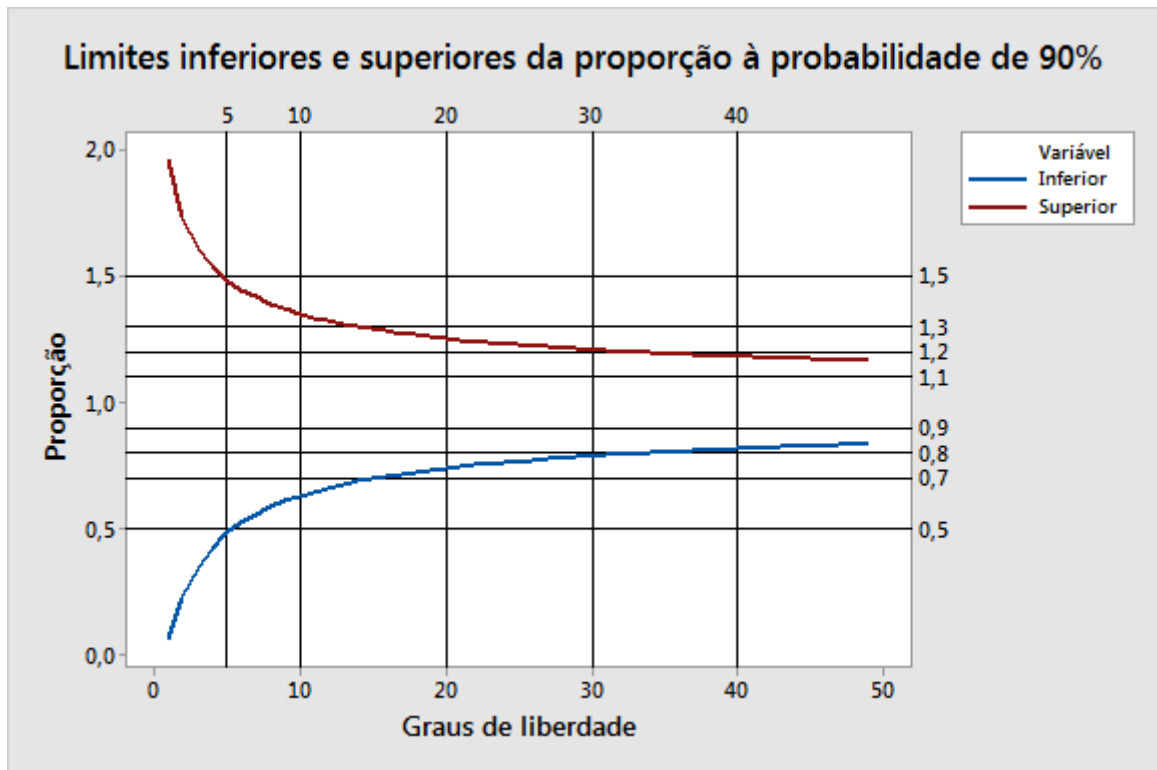


Figura 2 Limites inferior e superior de $\frac{s}{\sigma_e}$ a uma probabilidade de 90% versus graus de liberdade (1 a 50)

Conforme mostrado na Figura 2, quando os graus de liberdade são menos de 10, o intervalo é maior do que (0,63, 1,35). Conforme os graus de liberdade aumentam, o intervalo torna-se mais estreito, conforme indicado pelos valores na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 Graus de liberdade e limites inferior e superior a uma probabilidade de 90%

Graus de liberdade	Intervalo formado pelos limites inferior e superior
5	(0,48, 1,49)
10	(0,63, 1,35)
15	(0,70, 1,29)
20	(0,74, 1,25)
25	(0,76, 1,23)
30	(0,79, 1,21)
35	(0,80, 1,19)
40	(0,81, 1,18)

Portanto, a uma probabilidade de 90%, você precisa de cerca de 35 graus de liberdade para obter uma margem de erro de 20% para a estimativa de desvio padrão de repetibilidade.

Lembre-se de que os graus de liberdade são iguais ao Número de partes * Número de operadores * (Número de réplicas – 1). Portanto, a recomendação típica de 10 partes, 3 operadores e 2 réplicas fornece os graus de liberdade (30) que estão perto deste requisito. Para obter uma margem de erro de 10% a uma probabilidade de 90%, você precisa de cerca de 135 graus de liberdade (consulte a Figura 1).

© 2015, 2017 Minitab Inc. All rights reserved.

Minitab®, Quality. Analysis. Results.® and the Minitab® logo are all registered trademarks of Minitab, Inc., in the United States and other countries. See minitab.com/legal/trademarks for more information.