

MSA - Teoria e Implantação com o ProFicient

Visão Geral

A decisão de ajustar ou não um processo de manufatura é comumente baseada em dados de medição. Os dados de medição, ou valores estatísticos calculados a partir deles, são comparados com os limites de controle do processo. Se a comparação indicar que o processo está fora de controle estatístico, algum ajuste (de algum tipo) pode então ser realizado.

O benefício de usar um procedimento baseado em dados é muito dependente da qualidade destes dados. Se os dados não forem confiáveis, o benefício decorrente do uso do procedimento é comumente precário. Igualmente, se a qualidade dos dados é alta, o benefício costuma ser significativo.

Para garantir que o benefício resultante do uso de dados de medição seja suficiente para cobrir o custo de obtê-los, atenção deve ser dada à qualidade dessas informações.

A qualidade dos dados de medição é definida pelas propriedades estatísticas das múltiplas medições obtidas a partir de um sistema de medição operado sob condições estáveis.

Valor verdadeiro: objetivo do processo de medição é o valor verdadeiro do parâmetro avaliado. Deseja-se que qualquer leitura individual resulte tão próxima deste valor quanto for possível (economicamente possível).

Nota: Neste documento, o instrumento de medição é tratado como sendo o processo, diferente do CEP, que trata o processo como sendo a máquina, linha ou conjunto de ações que produz o produto.

MSA - *Measurement System Analysis* (em português: **Análise do Sistema de Medição**)

As propriedades estatísticas mais comumente usadas para caracterizar a qualidade dos dados são a **tendência** e a **variância** do sistema de medição.

- **Tendência:** refere-se à localização dos dados em relação ao valor de referência (padrão). É a diferença entre a média observada das medições e o valor convencional (VC). A tendência responde quanto o processo (instrumento) está variando do alvo. É o erro sistemático que faz parte do sistema de medição.
- **Variância:** refere-se à dispersão dos dados.
- **Estabilidade:** análise que avalia a mudança da tendência no decorrer do tempo.

- **Linearidade:** diferença nos valores da tendência ao longo da faixa de operação esperada do dispositivo de medição.
- **R&R do dispositivo de medição** – repetitividade e reprodutibilidade do dispositivo de medição: capacidade do sistema de medição. Dependendo do método utilizado, pode incluir o efeito do tempo ou não.

Avaliação do Sistema de Medição como Variável Numérica

Características de posição (localização): \bar{X}

- Tendência
- Linearidade
- Estabilidade

Características de variação (dispersão): R

- -Repetitividade
- -Reprodutibilidade

Preparação para a avaliação do sistema

- Definir o número de avaliadores, número de peças e o número de replicações
- Selecionar os avaliadores que normalmente realizam as medições
- Selecionar peças que representem a variação do processo de fabricação
- Definir quais propriedades estáticas devem ser avaliadas
- Garantir que o sistema de medição está corretamente definido e aplicado pelos avaliadores
- Realizar a coleta de dados aleatoriamente

❖ Avaliação da Repetitividade e Reprodutibilidade

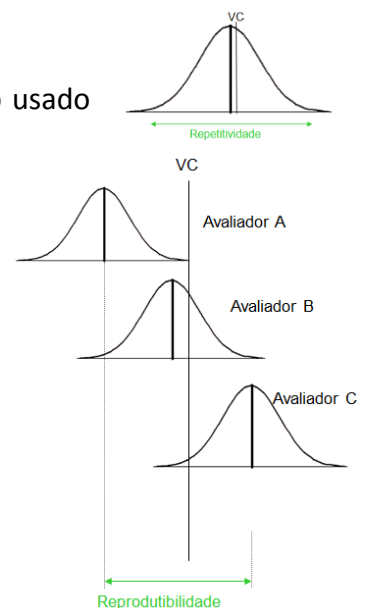
Repetitividade: “Variabilidade de um único avaliador”.

Variação nas medidas obtidas com um instrumento de medição, quando usado

várias vezes por um **mesmo avaliador**, medindo a mesma característica na **mesma peça**.

Reprodutibilidade: “Variabilidade entre avaliadores”.

Muda-se uma das condições. Normalmente o *operador* é a condição estudada. Variação na média das medidas feitas por **diferentes avaliadores** utilizando o **mesmo instrumento** de medição medindo a mesma característica nas **mesmas peças**.



R&R do dispositivo de medição é uma estimativa da variação combinada da repetitividade e da reprodutibilidade.

R&R é a variância resultante da soma das variâncias dentro do sistema e entre sistemas.

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{reprodutibilidade}^2 + \sigma_{repetitividade}^2$$

NOTA: A média dos quadrados dos desvios de cada valor individual em relação à média é chamada de variância:

$$S_{X^2} = \text{Variância} = \sum_{i=1}^n \frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

Para chegar a uma medida do desvio médio, é necessário aplicar a raiz quadrada à variância. Esse desvio médio tem outro nome em estatística, chamado de **desvio padrão**, dado pela equação:

$$S_X = \sqrt{S_{X^2}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Métodos de avaliação

1. Amplitude – O InfinityQS MSA Standard Edition não contempla este método
2. Média e amplitude - O InfinityQS MSA Standard Edition contempla este método
3. Análise de Variância (ANOVA) - O InfinityQS MSA Standard Edition atende parcialmente este método

Nota: Neste documento não será abordado o método da Amplitude, pois este método fornece somente uma visão geral do sistema de medição.

2. Método da média e da amplitude

Diferente do método da amplitude, esta abordagem permite a decomposição da variação do sistema de medição em dois componentes distintos: a repetitividade e a reprodutibilidade. Não fornecerá a interação de um sobre o outro.

Procedimento:

1. Selecionar no mínimo 10 peças que representem a atual ou esperada variação do processo de fabricação.
2. Selecionar 3 avaliadores que normalmente executam a medição.
3. Conduzir as medições aleatoriamente (mudando a ordem das peças e/ou identificando as peças de maneira que o avaliador não consiga identificar).
4. Realizar 2 ou 3 replicações.
5. Realizar os cálculos.
6. Apresentar graficamente as médias e amplitudes.
 - 6.1 Calcular a média e amplitude para cada avaliador.
 - 6.2 Calcular a média por peça e a média total das peças.

Análise Gráfica:

Gráfico das Médias Disponível no InfinityQS MSA Standard Edition

O gráfico das médias das peças para cada avaliador auxilia na determinação da consistência entre avaliadores. Este gráfico esclarece e informa sobre a “possibilidade de uso” do sistema de medição.

A área entre os limites de controle representa a sensibilidade da medição (ruído). Este gráfico apresenta a variação do sistema de medição em comparação com a variação do processo (sistema de produção).

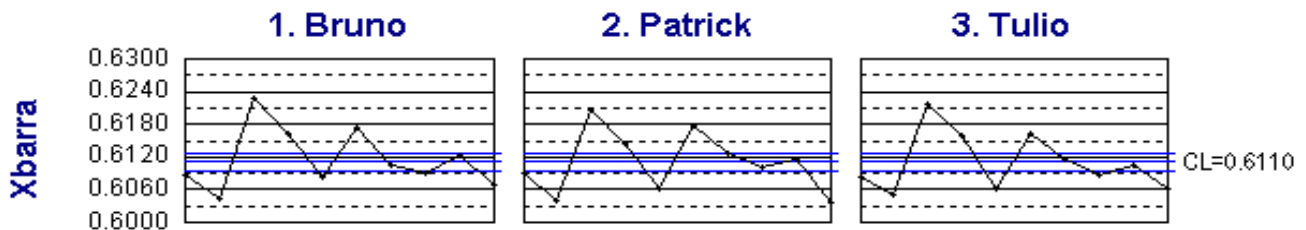


Gráfico das médias obtido no InfinityQS MSA Standard Edition

Interpretação gráfica:

- Sistema APROVADO: 50% ou mais pontos acima ou abaixo dos limites de controle.
- Sistema REPROVADO: Menos de 50% - sistema de medição não dispõe de resolução efetiva, ou a amostra não representa a variação esperada do processo.

Gráfico da Amplitude Disponível no InfinityQS MSA Standard Edition

Não importa quão grande possa ser o erro da medição, os limites de controle do gráfico irão incluir estes erros. Portanto, este gráfico é utilizado para verificar se o processo (instrumento) está sob controle estatístico. Esta é a razão pela qual se torna necessária a identificação e eliminação das causas especiais de variação antes de qualificar um estudo como relevante.

Este gráfico auxilia na verificação do controle estatístico com respeito à repetitividade e a consistência do processo de medição entre avaliadores para cada peça.

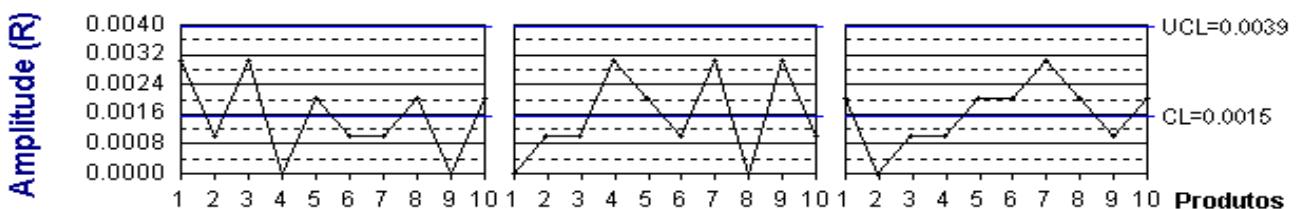


Gráfico das amplitudes obtido no InfinityQS MSA Standard Edition

Interpretação gráfica:

- Um dos avaliadores com medições fora da área localizada entre os limites de controle: método por ele utilizado difere do método utilizado pelos demais.

- Todos os avaliadores com medições fora da área localizada entre os limites de controle: sistema de medição mostra-se sensível à técnica utilizada, portanto, necessita algum aperfeiçoamento para gerar dados confiáveis.

Nota: análises de tendência utilizadas nos gráficos tradicionais não devem ser utilizadas aqui, pois os pontos não estão plotados em ordem temporal! A ordenação é feita por peça.

Gráfico de Sequências (Run Chart) – Disponível no SPC MI por meio do gráfico box plot

Avalia o efeito das peças individualmente na consistência da variação, possibilitando a identificação de leituras extremas/discrepantes (leituras anormais).

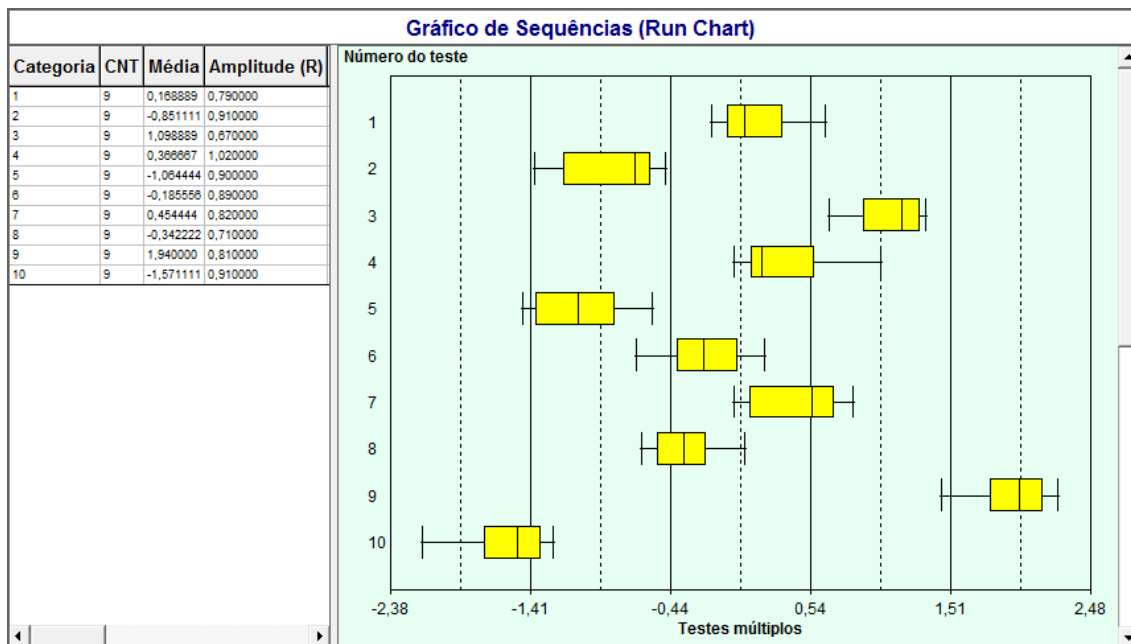


Gráfico Box plot obtido no InfinityQS SPC MI

Gráfico de Dispersão – Disponível no SPC MI por meio da configuração do box plot

Avalia a consistência entre avaliadores e indica possíveis leituras discrepantes.

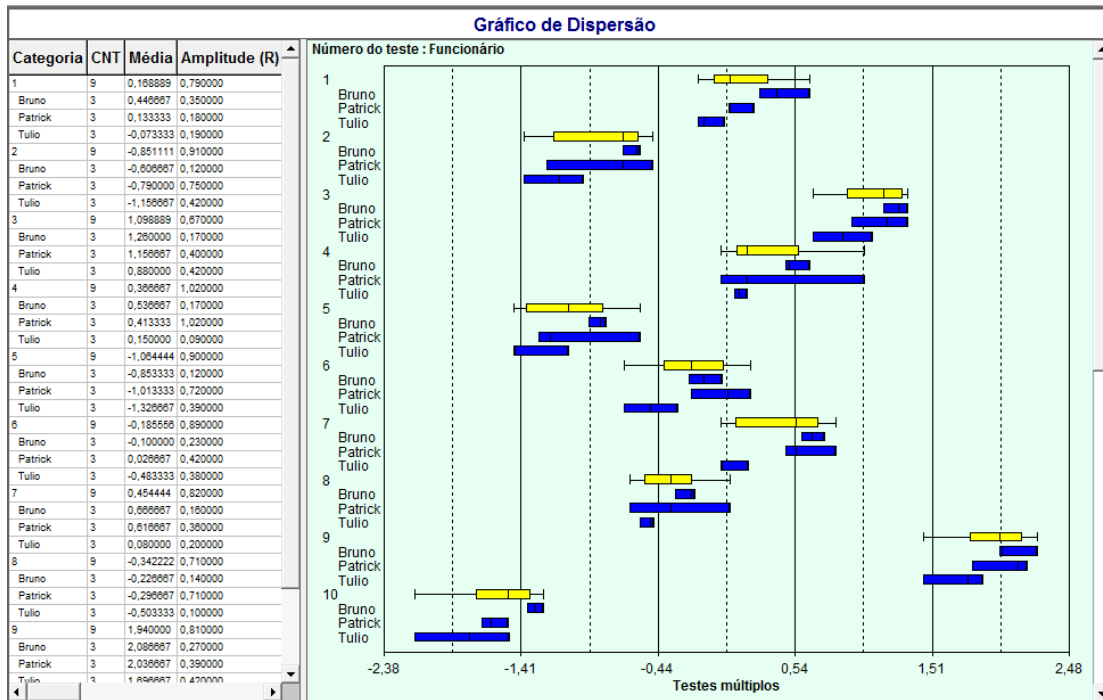


Gráfico Box plot obtido no InfinityQS SPC MI

Whiskers Chart – Disponível no SPC MI por meio da configuração do box plot

Avalia a consistência entre os avaliadores, indicação de leituras discrepantes e as interações peça versus avaliador.

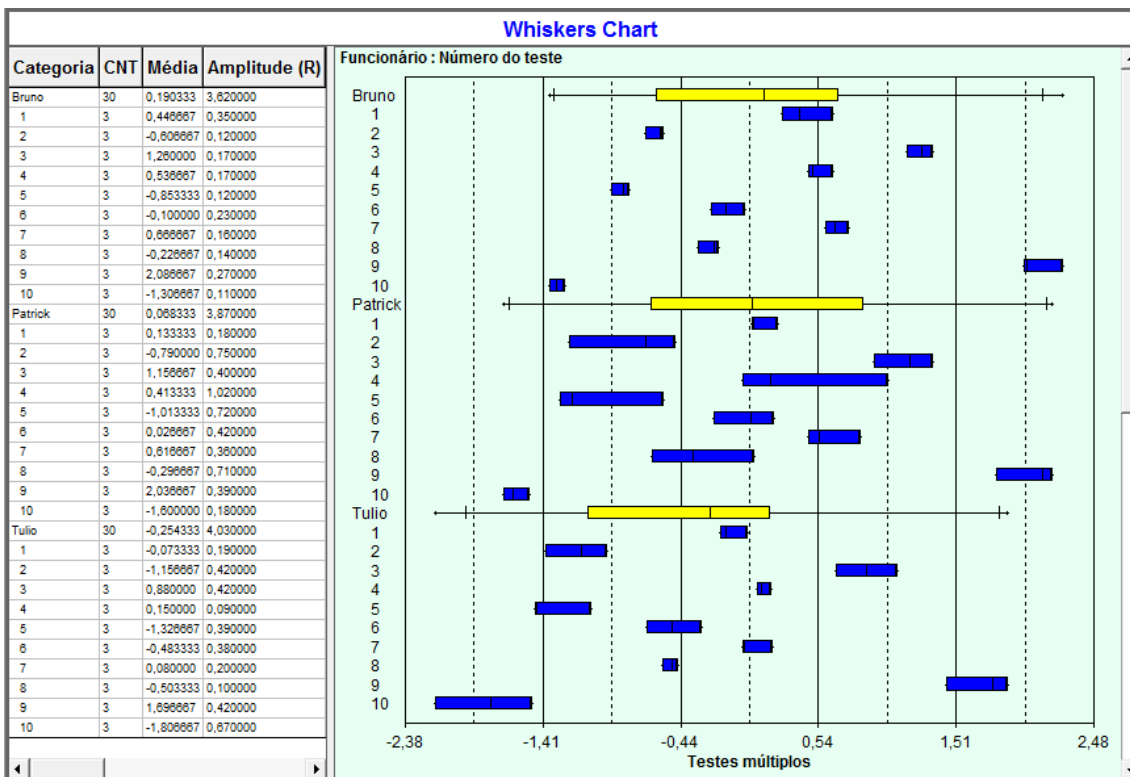
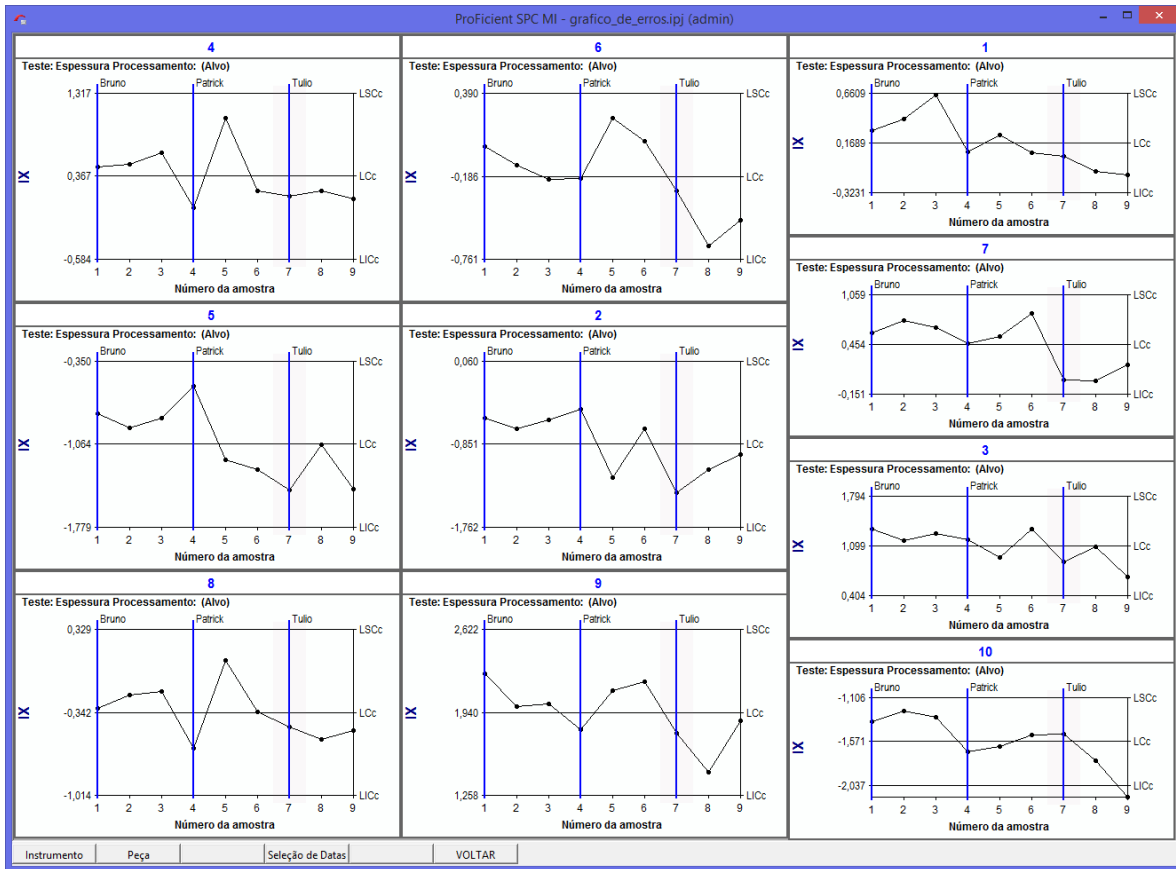


Gráfico Box plot obtido no InfinityQS SPC MI

Gráficos de Erros - Disponível no SPC MI por meio da configuração de gráficos de controle

Avalia a existência de tendência e variabilidade do avaliador.



Gráficos de controle obtidos no InfinityQS SPC MI

Histograma Normalizado Disponível no SPC MI por meio da configuração do histograma

Exibe a distribuição de frequências de erros do dispositivo de medição para cada avaliador e a comparação entre as distribuições de frequências.

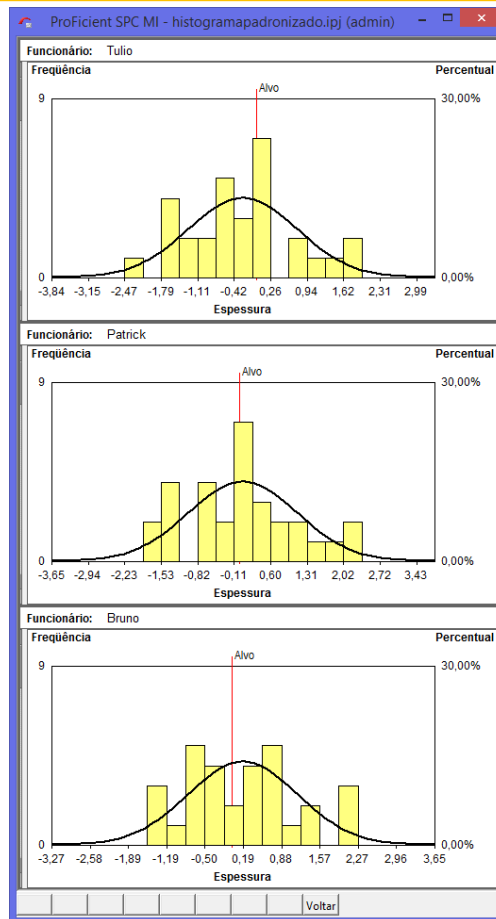
Se os valores de referência estão disponíveis:

$$\text{Erro} = \text{Valor observado} - \text{Valor referência}$$

Caso contrário:

$$\text{Valor normalizado} = \text{Valor observado} - \text{Média da peça}$$

Nota: Para exibir o histograma normalizado no SPC MI, é necessário cadastrar os limites de especificação, pois o histograma possui a opção de padronizar pelo alvo ou nominal, não possui a opção de padronizar os dados em função da média das medições (ao contrário do gráfico de controle). Caso se deseje padronizar em função da média das medições, é necessário inserir esta média como sendo o alvo da especificação.



Histogramas obtidos no InfinityQS SPC MI

Cálculos Numéricos

Estima a “variação” e a “porcentagem de variação do processo” para a variação total do sistema de medição e seus componentes: **repetitividade, reprodutibilidade, e a variação da peça**. Estes resultados complementam a análise gráfica.

O desvio padrão é calculado para cada componente.

Repetitividade – Variação do Equipamento (EV ou σ_{pet})

$$EV = R \cdot K_1 \quad \text{onde: } K_1 = 1/d_2$$

Rbarra é a média das amplitudes médias de cada avaliador. No relatório do gráfico é mostrado a média da amplitude de cada avaliador.

$K_1 = 1/d_2$ onde d_2 é calculado com base no número de avaliadores multiplicado pelo número de peças por avaliador. Existe uma tabela que faz essa relação. No caso de usar 3 avaliadores e 10 peças, o valor de d_2 é =1,69257.

$\%EV=100*EV/TV$ onde TV corresponde a variação total do processo de fabricação, na qual já está inclusa a variação do sistema de medição.

Existem 4 possibilidades para determinar a variação total (VT):

Possibilidade 1. Utilizando os dados do estudo do dispositivo de medição, Calculado pela seguinte fórmula:

$$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$$

Possibilidade 2. Se a variação do processo de produção é conhecida e seu valor está baseado em 6σ , então este valor pode ser usado na substituição na variação total do estudo (TV) calculada a partir dos dados do estudo do dispositivo de medição. Isto pode ser realizado por meio de duas fórmulas:

$$TV = \frac{\text{Variação do Processo}}{6}$$

e

$$PV = \sqrt{TV^2 + R\&R^2}$$

Estes dois valores (VT e VP) podem substituir os anteriormente calculados.

Possibilidade 3. Utilizando os valores de tolerância por meio da seguinte fórmula:

$$TV = \frac{LSE - LIE}{6}$$

Possibilidade 4. Utilizando o valor alvo de Pp (Ppk)

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma} \rightarrow VT = \frac{LSE - LIE}{6 Pp}$$

A possibilidade 4 é novidade da 4ª Edição do Manual IQA

OBS: Se $Pp < 1$, deve-se então utilizar a tolerância.

Nota: Aqui temos uma análise quantitativa, mas é preciso fazer também uma análise gráfica: **gráfico das amplitudes.**

Nota: O MSA Standard Edition exibe as estatísticas para as possibilidades 1 e 2:

- Possibilidade 1: Utilizando a variação do processo decorrente das peças utilizadas no estudo R&R, por meio do **Relatório de Variação Total**. Esta opção deve ser considerada quando as peças realmente forem representativas da variação do processo
- Possibilidade 2: Utilizando a tolerância, por meio do **Relatório de Tolerância Total**.

Reprodutibilidade – Variação entre Avaliadores (VA) – leva em consideração o efeito dos operadores, pois é impactado pelo x_{diff} proveniente da repetitividade.

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} K_2)^2 - (EV^2 / \text{peças} * \text{tentativas})}$$

\bar{X}_{diff} = é a amplitude das médias obtidas por cada avaliador, ou seja, é feito o cálculo da **média encontrada** para cada avaliador, e com os 3 valores obtidos (no caso de usar 3 avaliadores) calcula-se a amplitude. No relatório do gráfico é mostrado a média de cada avaliador.

$K_2 = 1/d_2$, onde d_2 é retirado de uma tabela que fornece o valor de d_2 conforme o número de avaliadores. No de usar 3 avaliadores, o valor de d_2 e =1,91115.

$n*r$ = número de produtos * números de tentativas

$$\%AV = 100 * AV / TV$$

Nota: Aqui temos uma análise quantitativa, mas precisamos fazer também uma análise gráfica: **gráfico das médias** dos avaliadores.

Repetitividade & Reprodutibilidade (R&R) - Calcula o desvio padrão da variação do sistema de medição R&R.

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{reprodutibilidade}^2 + \sigma_{repetitividade}^2$$

E

$$\%R\&R \text{ ou } \% \sigma_{R\&R} = 100 * R\&R / VT$$

Nota: A soma das porcentagens representativas de cada componente da variação total não totaliza 100%.

Os resultados destas porcentagens relativas à variação total necessitam ser avaliados para determinar se o sistema de medição é aceitável ou não para a sua pretendida aplicação.

Ndc - A fase final da análise numérica é a determinação do número de distintas categorias (ndc) de resultados que podem ser confiavelmente distinguidos pelo sistema de medição. Este é o número de resultados não superpostos (intervalo de confiança – 97%) que segmentará a esperada variação do produto.

1. Determinar o número de categorias distintas (ndc)

$$ndc = 1,41 * \frac{VP}{R\&R}$$

Onde:

Ndc - deve ser considerado como o maior inteiro contido no valor calculado. Corresponde à capacidade de conseguir enxergar valores diferentes, ou quantos R&R são possíveis alocar dentro do sistema.

VP - corresponde à variação do processo real (sem estar contaminado pelo R&R).

1,41 - utilizado para compensar a sobreposição.

Abaixo encontra-se o relatório para a Tolerância total e o relatório da Variação Total fornecidos no InfinityQS MSA Standard Edition.

Instrumento: Paquímetro / Digico-A01 / A01-001	
Análise da unidade de medição	% da tolerância total (TT)
Variação do equipamento (Repetitividade) EV = $\bar{R} \times K_1$ = $0,0015 \times 0,5908$ = 0,0009	% EV = $100 (EV / (TT / 6))$ = $100 (0,0009 / (1,0000 / 6))$ = 0,5
Variação do avaliador (Reprodutibilidade) AV = $\sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / \text{Produtos} \times \text{testes})}$ = $\sqrt{(0,0007 \times 0,5231)^2 - (0,0009^2 / 10 \times 3)}$ = 0,0003	% AV = $100 (AV / (TT / 6))$ = $100 (0,0003 / (1,0000 / 6))$ = 0,2
Repetitividade e Reprodutibilidade R & R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = $\sqrt{0,0009^2 + 0,0003^2}$ = 0,0010	% R & R = $100 (R\&R / (TT / 6))$ = $100 (0,0010 / (1,0000 / 6))$ = 0,6
Variação do produto PV = $R_p \times K_3$ = $0,0172 \times 0,3146$ = 0,0054	% PV = $100 (PV / (TT / 6))$ = $100 (0,0054 / (1,0000 / 6))$ = 3,3
Variação total TV = $\sqrt{R\&R^2 + PV^2}$ = $\sqrt{0,0010^2 + 0,0054^2}$ = 0,0055	% TV = $100 (TV / (TT / 6))$ = $100 (0,0055 / (1,0000 / 6))$ = 3,3

Relatório de Tolerância Total Obtido no InfinityQS MSA

Instrumento: Paquímetro / Digico-A01 / A01-001	
Análise da unidade de medição	% da variação total (TV)
Variação do equipamento (Repetitividade) EV = $\bar{R} \times K_1$ = $0,0015 \times 0,5908$ = 0,0009	% EV = $100 (EV / TV)$ = $100 (0,0009 / 0,0055)$ = 16,5
Variação do avaliador (Reprodutibilidade) AV = $\sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2 / \text{Produtos} \times \text{testes})}$ = $\sqrt{(0,0007 \times 0,5231)^2 - (0,0009^2 / 10 \times 3)}$ = 0,0003	% AV = $100 (AV / TV)$ = $100 (0,0003 / 0,0055)$ = 5,6
Repetitividade e Reprodutibilidade R & R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = $\sqrt{0,0009^2 + 0,0003^2}$ = 0,0010	% R & R = $100 (R\&R / TV)$ = $100 (0,0010 / 0,0055)$ = 17,4
Variação do produto PV = $R_p \times K_3$ = $0,0172 \times 0,3146$ = 0,0054	% PV = $100 (PV / TV)$ = $100 (0,0054 / 0,0055)$ = 98,5
Variação total TV = $\sqrt{R\&R^2 + PV^2}$ = $\sqrt{0,0010^2 + 0,0054^2}$ = 0,0055	ndc = $1,41 (PV / GRR)$ = $1,41 (0,0054 / 0,0010)$ = 8,0

Relatório de Variação Total Obtido no InfinityQS MSA

Interpretação dos Resultados:

Análise dos Erros:

- **Erro menor que 10%** - sistema de medição geralmente considerado como aceitável.
- **Erro entre 10% e 30%** - sistema de medição pode ser aceito com base na importância de sua aplicação, no custo do aparato de medição, no custo do reparo, etc.
- **Erro acima de 30%** - sistema de medição considerado como não aceitável, sendo que todo o esforço deve ser feito para melhorá-lo.

IMPORTANTE:

Esse valor que o SPC MI usa para bloquear o instrumento é $= 100 * R\&R / TT$, que é o que a literatura indica avaliar, ou seja, é a porcentagem que o R&R representa da tolerância total (LSE-LIE). Porém, este resultado não é exibido no MSA.

O valor %R&R que é exibido no MSA (no relatório de tolerância total,) é a porcentagem que o R&R (desvio padrão do sistema de medição) representa do desvio padrão calculado com base nas especificações (LSE-LIE/6).

Análise do ndc:

Ndc deve ser maior ou igual a 5, ou seja, o processo pode ser dividido pelo sistema de medição em uma certa quantidade de partes que deve ser maior ou igual a 5.

3. Método ANOVA

Este método pode ser usado para determinar a interação entre o dispositivo de medição e os avaliadores, caso tal interação exista. É uma técnica estatística padrão que pode ser utilizada para analisar o erro de medição ou outras fontes de variabilidade dos dados pertinentes a um estudo de sistema de medição.

A análise de variância pode ser decomposta em quatro categorias: peças, avaliadores, interação entre peças e avaliadores e o erro de repetição devido ao dispositivo de medição.

Vantagens desta técnica comparada ao método Média e Amplitude:

Capaz de tratar qualquer estrutura de um experimento.

Pode estimar as variâncias mais precisamente.

Extrai mais informações dos dados experimentais (tal como o efeito da interação entre peças e avaliadores).

Desvantagens desta técnica comparada ao método Média e Amplitude:

Cálculos numéricos mais complexos.

Requer certo grau de conhecimento estatístico para interpretação dos resultados.

Nota: Este método é aconselhado quando se dispõe de ferramentas computacionais.

Procedimento:

Atenção: Se os dados não forem coletados de maneira aleatória, poderá ocorrer o surgimento de uma fonte de valores tendenciosos.

Mesmo procedimento adotado no método das Médias e Amplitudes.

Análise Gráfica: InfinityQS SPC MI atende parcialmente, pois não gera o gráfico das médias superpostas. O manual chama de gráfico de interação

Qualquer um dos gráficos descritos na seção do Método Médias e Amplitudes podem ser usados para a análise gráfica dos dados.

Algumas análises gráficas são contempladas de maneira diferente na análise ANOVA, como o Gráfico das Médias.

Gráfico das Médias

Quando é utilizado o método ANOVA, este gráfico (médias superpostas) confirma o resultado do teste **F** sobre a significância da interação (se a interação é significativa ou não).

Interpretação do gráfico: se as k linhas (k = número de avaliadores) forem paralelas (aproximadamente), indica a não existência de interação significativa. Quanto maior for o ângulo de intersecção, maior será a interação.

Análise Numérica InfinityQS MSA atende parcial pois não gera o relatório de variação total do instrumento para ANOVA , portanto não exibe o ndc para ANOVA

Os dados da ANOVA podem ser organizados em 5 colunas:

Coluna fonte: mostra a causa da variação.

Coluna GL: graus de liberdade associados com a fonte.

Coluna SQ: *soma dos quadrados* - desvio em torno da média da fonte.

Coluna QM: *quadrado médio* - soma dos quadrados dividido por GL.

Coluna do Quociente F: resultado do cálculo feito para determinar a significância estatística do valor da fonte.

Média e Amplitude	Inferior		Superior	% do total	% do total	Percentual
Método	90% do LC	Desvio padrão	90% do LC	Tolerância	Variação	Contribuição
Repetitividade (EV)	0.0008	0.0009	0.0011	24.7	16.5	2.7
Reprodutibilidade (AV)	0.0002	0.0003	0.0014	8.4	5.6	0.3
R&R do instrumento	0.0008	0.0010	0.0011	26.1	17.4	3.0
Produto para produto (PV)	0.0040	0.0054	0.0089	147.7	98.5	97.0

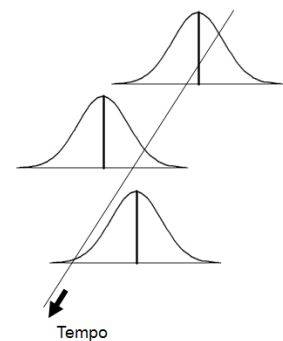
ANOVA	Inferior		Superior	% do total	% do total	Percentual
Método	90% do LC	Desvio padrão	90% do LC	Tolerância	Variação	Contribuição
Repetitividade (EV)	0.0008	0.0009	0.0011	25.9	16.9	2.9
Reprodutibilidade (AV)	0.0000	0.0002	0.0016	5.5	3.6	0.1
Operador x Produto (Interação)	0.0005	0.0008	0.0013	22.9	15.0	2.2
R&R do instrumento	0.0012	0.0013	0.0021	35.0	22.9	5.2
Produto para produto (PV)	0.0035	0.0055	0.0094	149.0	97.3	94.8

Relatório obtido no InfinityQS MSA

❖ Avaliação da estabilidade InfinityQS SPC MI atende

Procedimento:

1. Obter um padrão (peça padrão) e seu VC (valor convencional ou nominal)
2. Medir a peça padrão periodicamente de 3 a 5 vezes
3. Plotar os dados num gráfico de controle Xbarra-R ou Xbarra-s.
4. Analisar graficamente os resultados



Análise:

Realizada por meio de um **gráfico de controle**. A estabilidade é analisada sobre um mesmo padrão.

A análise dos gráficos segue as metodologias do CEP.

Causas possíveis da falta de estabilidade

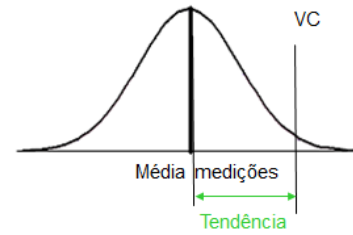
- Falta de calibração do instrumento
- Desgaste do instrumento ou dispositivo de fixação
- Manutenção precária
- Desgaste do padrão
- Instrumento de baixa qualidade
- Projeto do instrumento não robusto
- Método de medição diferente
- Variação nas condições ambientais, etc.

❖ Avaliação da Tendência: InfinityQS SPC MI atende

Procedimento:

1. Selecionar uma peça padrão e definir o VC.
2. Repetir a medição no mínimo 10 vezes (**mesmo operador medindo a mesma peça**).

3. Calcular a média das médias obtidas.
4. Calcular a tendência (Bias (erro sistemático)).



Análise Gráfica:

Construir um histograma marcando o VC. Analisar o histograma para determinar se estão presentes quaisquer causas especiais ou anomalias. Em caso negativo, continuar a análise.

Nota: Atenção especial deve ser tomada em qualquer interpretação ou análise com $n < 30$.

Análise Numérica:

O manual IQA apresenta 2 métodos para o estudo da tendência:

- **Método da Amostra Independente e**
- **Método do Gráfico de Controle.**

A diferença entre eles é que o Método da **Amostra Independente** é utilizado quando não existe um estudo de estabilidade prévio. Já o Método do **Gráfico de Controle**, utiliza os mesmos dados de estudos prévios de estabilidade, e o Sigma bias considera além do tamanho do subgrupo, a quantidade de subgrupos analisados.

Método do Gráfico de Controle

Os mesmos dados utilizados no estudo de estabilidade, por meio dos gráficos de controle Xbarra-R ou Xbarra-s, podem ser utilizados para o estudo de tendência. Neste caso, o método é dito Método do Gráfico de Controle.

Nota: A análise do gráfico de controle deve indicar que o sistema de medição é estável antes da tendência ser avaliada.

1. Calcular a média das leituras

Obtido pelo gráfico de controle (já calculado na análise de Estabilidade), é o valor de Xbarra.

2. Calcular o desvio padrão da repetitividade (σ_{repet})

$$\sigma_{repet} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

}

Novidade da 4° Edição. Antes era utilizada a fórmula do desvio padrão de curto prazo (Rbarra/d2).

Se um estudo R&R estiver **disponível e válido**, então esta análise deve ser baseada nos resultados desse estudo.

2.1. Se um estudo de R&R não estiver disponível, é necessário determinar se a repetitividade é aceitável (%VE).

3. Calcular o desvio padrão da média (σ_b) (bias)

a. Método Amostra Independente

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{repet}}{\sqrt{n}}$$

Quanto menor o tamanho da amostra, maior o desvio padrão da média.

b. Método Gráfico de Controle

$$\sigma_b = \frac{\sigma_{repet}}{\sqrt{mn}}$$

onde: m = número de subgrupos no gráfico
 n = tamanho do subgrupo

4. Calcular a tendência (Bias, erro sistemático)

$$\text{Tendência (Bias)} = \bar{X} - VC$$

5. Calcular a estatística tcal (t calculado) para a tendência:

$$tcal = \frac{\text{tendência}}{\sigma_b}$$

Tendência é aceitável para um nível de significância α , se:

Valor-P associado a tcal for maior que α ,

ou

O valor ZERO se situar dentro dos limites de confiança $1-\alpha$ (considerando $\alpha = 0,05$), em torno do valor da tendência (dentro do intervalo de confiança de 95% para a tendência).

$$\text{tendência} - \left[\sigma_b \left(t_{v, 1-\frac{\alpha}{2}} \right) \right] \leq \text{ZERO} \leq \text{tendência} + \left[\sigma_b \left(t_{v, 1-\frac{\alpha}{2}} \right) \right]$$

Onde: $v = n-1$

$\left(t_{v, 1-\frac{\alpha}{2}} \right)$ é o t tabelado (em função do grau de liberdade e da probabilidade de abrangência).

Portanto: $|tcal| \leq |t \text{ tabelado}|$

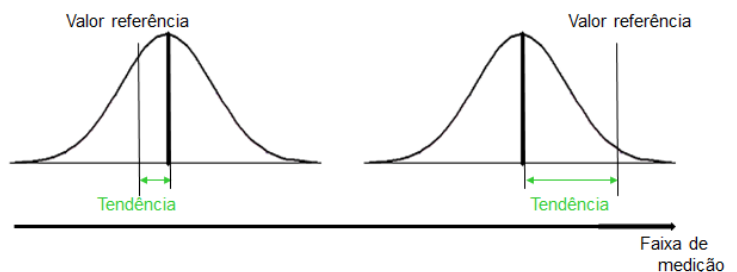
Em geral, a tendência do sistema de medição é inaceitável se for significativamente diferente de zero ou exceder o máximo erro admissível estabelecido para o processo de calibração do dispositivo de medição.

Possíveis causas da tendência ser estatisticamente não NULA:

- Erro no valor referencial (VC)
- Instrumento desgastado
- Instrumento construído para dimensão errada
- Instrumento medindo característica errada
- Instrumento calibrado de forma inadequada
- Instrumento usado pelo avaliador de forma inadequada
- Instrumento com algoritmo de correção incorreto
- Influência das condições ambientais

❖ Avaliação da Linearidade

Linearidade é a diferença nos valores da tendência ao longo da faixa de operação esperada do dispositivo de medição.



Procedimento:

1. Selecionar no mínimo 5 peças padrão ($g \geq 5$) cujas medidas cubram o intervalo de operação do dispositivo de medição (DM)
2. Determinar o valor de referência (VC) de cada peça
3. Medir aleatoriamente cada peça no mínimo 10 vezes ($m \geq 10$)
4. Calcular a tendência para cada peça padrão
5. Construir o gráfico em linha, da tendência em função do VC
6. Determinar a melhor reta que passe pelos pontos plotados

Análise Gráfica: InfinityQS SPC MI atende

Construir um gráfico de linhas (gráfico de correlação) entre os Valores Referência e as Tendências e plotar a reta de melhor ajuste:

$\bar{y}_i = ax_i + b$, onde:

$$a = \frac{\sum xy - \left(\frac{1}{gm} \sum x \sum y \right)}{\sum x^2 - \frac{1}{gm} (\sum x)^2}$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x}$$

O intervalo de confiança para um dado valor x_0 com nível de confiança α é dado por:

$$ax_o + b - \left[t_{gm-2, 1-\alpha/2} \sqrt{\left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right) s} \right]$$

$$\leq y_o \leq$$

$$ax_o + b + \left[t_{gm-2, 1-\alpha/2} \sqrt{\left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_o - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right) s} \right]$$

Onde: y_i são os erros e x_i são as medidas, e $s = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - b \sum y_i - a \sum x_i y_i}{gm-2}}$

O coeficiente de determinação do ajuste (R^2) deve indicar se o modelo linear é apropriado ou não para os dados estudados.

Para a linearidade do sistema de medição ser aceitável, a linha de “tendência = ZERO” deve estar inteiramente contida na faixa de confiança da linha de melhor ajuste, ou seja, ela não pode cruzar com os limites da faixa de confiança, e sim, se manter contida entre elas.

Análise Numérica:

Se a análise gráfica indicar que a linearidade do sistema de medição é aceitável, então as seguintes hipóteses devem ser verdadeiras:

$H_0: a = 0$

$H_0: b = 0$

onde a – inclinação da rela

b - interseção da linha com o eixo vertical (tendência)

Calcular os valores estatísticos t para a taxa de inclinação da linha de melhor ajuste e para a interseção desta mesma linha com o eixo vertical.

$$|t| \leq t_{gm-2, 1-\alpha/2}$$

Consultar tabela t e comparar com t_a e t_b .

Nota: No gráficos de dispersão do InfinityQS SCP MI é apresentado a relação t para os dois coeficientes.

Referências

Manual IQA - Instituto de Qualidade Automotiva - 3° edição

Curso- MSA – Análise dos Sistemas de Medição (SOCIESC - Sociedade Educacional de Santa Catarina-ano 2010)