

Arthur e Arthura Antropometria Ltda - Aplicação Didática para aprendizado de Repetitividade e Reprodutividade em um contexto Seis Sigma

Daniel Detoni (UNIFEI) ddetoni@hotmail.com
Pedro Paulo Balestrassi (UNIFEI) pedro@iem.efei.br
Luiz Fernando Barca (UNIFEI) barca@iem.efei.br

Resumo

*Este trabalho tem como objetivo apresentar um exercício didático para aprendizado da condução de um estudo de repetitividade e reprodutividade (R&R) na avaliação de um sistema de medição, um dos requisitos necessários para a implementação do Seis Sigma. Esse exercício enfatiza o humor e a prática pelo aluno durante o aprendizado em sala de aula. Espera-se com essa atividade, de maneira agradável e participativa, delinear as fases de preparação, execução e análise do estudo de R&R, bem como sua importância e objetivos. O problema tratado no exercício é o da empresa fictícia Arthur e Arthura Antropometria Ltda., uma empresa que realiza estudos antropométricos da população.
Palavras chave: Repetitividade e Reprodutividade, Aprendizado Cooperativo, Seis Sigma.*

1. Introdução

Implementar Seis Sigma em uma organização cria uma cultura interna de indivíduos educados em uma metodologia padronizada de caracterização, otimização e controle de processos. As variações de um processo resultam em um aumento de defeitos, custos e tempo de ciclo. A variabilidade deve ser reduzida continuamente.

A metodologia Seis Sigma trabalha com fatos e dados destacando-se assim, a fase de avaliação dos sistemas de medição. O R&R está relacionado ao estudo da variabilidade de qualquer sistema de medição, bem como das pessoas responsáveis por tais medições. Essa avaliação é necessária para efetivamente distinguir-se na variabilidade observada, qual parte se deve à variabilidade do processo em estudo e qual parte se deve à variabilidade da medição.

Este trabalho propõe um exercício didático, original, que conduzido com humor e uso de poucos recursos pode auxiliar no aprendizado e em um bom entendimento de R&R, de maneira bastante agradável.

O exercício exige participação intensiva dos alunos. O material empregado é facilmente obtido e a análise dos resultados durante o estudo é feita com auxílio do software Minitab®.

2. O Seis Sigma e a Análise do Sistema de Medição

Seis Sigma é um conceito que se encontra entre o cliente e o produto tendo como objetivo conseguir a excelência na competitividade pela melhoria continua dos processos. O termo sigma mede a capacidade do processo em operar livre de falhas ou erros.

A metodologia Seis Sigma utiliza ferramentas e métodos estatísticos para **definir** problemas e situações a melhorar, **medir** para obter informações e dados, **analisar** a informação, incorporar a **melhoria** e finalmente **controlar** os processos a fim de se alcançar um ciclo de melhoria continua. Esta metodologia para melhoria de processos faz com que se atinjam

níveis de defeitos de 3,4 ppm (defeitos por milhão) para as características críticas de qualidade dos clientes chamados CTQ's (HARRY, 1998).

O padrão de "regras" adotado pela metodologia Seis Sigma é chamado DMAIC, que significa:

D → Define (Definir): Estabelece-se os CTQ's dos clientes e defini-se o projeto a ser desenvolvido.

M → Measure (Medir): Coleta-se os dados de desempenho do processo, **analisa-se o sistema de medição** e calcula-se a capacidade do processo.

A → Analysis (Análise): Faz-se o levantamento de potenciais causas básicas de variação e defini-se a capacidade Seis Sigma do processo atual estabelecendo-se os objetivos de melhoria do projeto.

I → Improvement (Melhoria): Toma-se as decisões sobre o processo, ou seja, é onde a melhoria se materializa no processo.

C → Control (Controle): Faz-se o controle das variáveis vitais, deve-se também estabelecer e validar um sistema de medição e controle a fim de se medir continuamente o processo, de modo que sua capacidade seja mantida.

A confiabilidade dos resultados das medições é fundamental para o Seis Sigma. Vários efeitos sistemáticos e aleatórios influenciam os resultados de uma medição. Os efeitos sistemáticos podem ser conhecidos e compensados, por exemplo, através da calibração do sistema da medição e do conhecimento da influência de parâmetros ambientais nas medições. Os efeitos aleatórios podem ser estimados e combinados para o cálculo da incerteza da medição.

A variabilidade da medição deve ser pequena em relação à variabilidade da grandeza de processo que se quer analisar. Se as duas forem de mesma ordem não se sabe distinguir entre variabilidade do processo e incerteza da medição, o que limita as decisões que podem ser tomadas.

O estudo de R&R, permite avaliar a amplitude da variação da medição em relação a variação do processo em análise. São consideradas como fontes de variação os operadores e o sistema de medição. O resultado desse estudo vai determinar se o processo de medição é adequado ou não para a avaliação de uma grandeza.

3. Aplicação Didática

Vários poderiam ser os exercícios utilizados de forma didática para apresentar R&R, como por exemplo, a análise de R&R para medição de peças com utilização de paquímetro ou micrômetros, ou a medição da tensão de pilhas com um multímetro. Certamente esses exemplos se aproximam muito da linha de produção, o que a princípio parece bom.

Na prática, o que tem sido observado, é que exemplos como os descritos acima são adequados no treinamento de operadores, acostumados no dia a dia com as medições e operação dos equipamentos utilizados. Quando se trabalha com o treinamento de *Green Belts*, por exemplo, o grupo é heterogêneo e nem todos tem experiência e atuação em áreas similares. O exercício torna-se de difícil compreensão e enfadonho para alguns. A atenção é voltada para a execução de leituras e operação do sistema do sistema de medição, ao invés de estarem voltadas para os objetivos do aprendizado.

A partir da afirmação "*a inteligência humana somente se desenvolve no indivíduo em função de interações sociais que são, em geral, demasiadamente negligenciadas*" (PIAGET apud TAILLE et al, 1992), e dos conceitos de aprendizado ativo e cooperativo (FELDER, 1994);

(JOHNSON et al., 1998), optou-se por elaborar um exercício, que reunisse elementos de humor e que proporcionasse a participação ativa do aluno e a cooperação entre os elementos do grupo.

No exercício é mostrada a aplicação da análise de um sistema de medição através de R&R (Repetitividade e Reprodutividade) utilizando o método ANOVA (Análise de Variância), com a utilização do software Minitab®.

3.1 Apresentação do problema: A Empresa Arthur e Arthura Antropometria Ltda.

O exemplo adotado aborda uma preparação de um estudo antropométrico realizado por uma empresa fictícia chamada Arthur e Arthura Antropometria Ltda. A empresa deve realizar medições das alturas de algumas pessoas. Para garantir a confiança nos resultados, a empresa realizará uma análise de R&R em sua equipe.

Um sistema de medição pode ter variações por limitações econômicas ou físicas e, conseqüentemente, suas propriedades podem ser afetadas (BREYFOGLE, 1999). As variações estão relacionadas à localização (estabilidade, descentralização, linearidade) e a largura ou dispersão (repetitividade e reprodutividade).

Para que o estudo possa ser realizado da melhor forma possível, a empresa Arthur & Arthura Antropometria Ltda formou uma equipe na qual estão presentes os seguintes cargos:

Elemento-Peça (EP): Os Elementos-peça escolhidos devem constituir uma amostra que represente da melhor forma possível a variação do processo, ou seja, deve apresentar a amplitude das alturas dos alunos, incluindo-se então o mais alto o mais baixo e alguns intermediários. Os alunos são instruídos de que a pessoa que será submetida às medições, nossa cobaia propriamente dita, deve possuir uma conduta adequada: não deve emitir sons, deve permanecer estático e, sobretudo deve manter o controle sobre processos flatulentos.

Elemento-Medidor (EM): É a pessoa responsável por realizar as medições, nosso operador propriamente dito. São necessários pelo menos dois EM's, É importante ressaltar que o EM tem que ser capaz de alcançar a altura dos EP's.

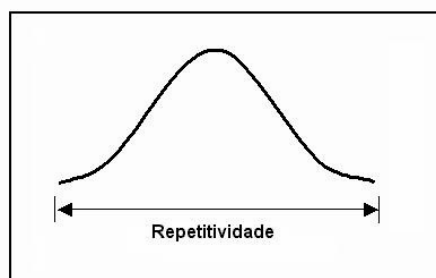
Auxiliar para Assuntos Aleatórios (AAA): É a pessoa responsável por anotar as leituras efetuadas pelos medidores, responsável pela aleatorização das medições e por anotar as observações e hipóteses sugeridas pelos colegas.

No estudo, a equipe deve ser composta por no mínimo dois EM's, um AAA e de preferência cinco EP's para que possam ser gerados dados suficientes para as análises. Cada EM deve medir um EP por três vezes alternadamente, os resultados deverão estar em centímetros (ex.: 178 cm), os EM's deverão fazer três ciclos medição, os EP's devem alternar suas posições a cada ciclo de medição, por fim o AAA não deve comunicar os resultados aos demais EM's. O professor deve estar atento para o tamanho do grupo, limitando o número de EM's e EP's, uma vez que o grupo não deve ser muito grande para não dificultar a participação efetiva de todos os membros.

Uma limitação do exercício é que o operador sabe qual peça está medindo. Eventualmente ele pode decorar o resultado e em um próximo ciclo de medição ele tentará repetir a medida. O MSA recomenda que o operador não saiba qual peça está medindo, isso normalmente é feito através de uma identificação visível apenas para o condutor do estudo. No exercício esse comentário é feito no final, uma vez que é até desejável que ocorra esse tipo de erro por se tratar de uma aplicação didática. Nesse caso o aluno entende as implicações caso isso esteja ocorrendo e facilita a compreensão dos cuidados necessários em uma aplicação real.

3.2 Repetitividade

Uma das análises realizada pela empresa é quanto a repetitividade, ou seja, o quanto há variação nas medidas obtidas com um instrumento de medição utilizado várias vezes pelo EM a fim de se efetuar as medidas antropométricas do EP. As fontes mais comuns de erros de repetitividade são as variações de medidas devido ao próprio instrumento e posição da peça no instrumento (BREYFOGLE,1999). Na figura 1 observa-se a distribuição característica para um mesmo operador utilizando um mesmo sistema de medição.

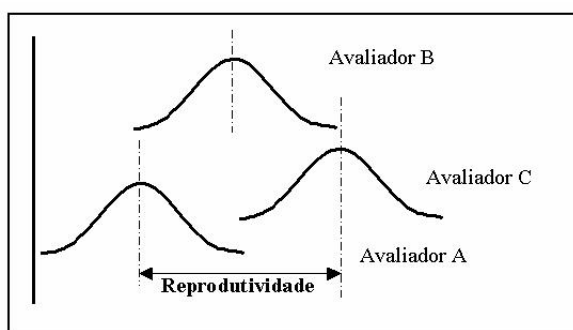


Fonte: (CHRISLER CORP. et al., 1995)

Figura 1 - Repetitividade

3.3 Reprodutividade

Outra característica analisada durante o estudo da empresa Arthur & Arthura Antropometria Ltda. diz respeito a reprodutividade, ou seja, o quanto há variação na média das medidas feitas pelos diferentes EM's utilizando o mesmo instrumento de medição, medindo as mesmas características antropométricas dos EP's. Na figura 2 podem ser observadas as distribuições das medidas realizadas por diferentes operadores.



Fonte: (CHRISLER CORP. et al., 1995)

Figura 2 - Reprodutividade

3.4 Obtenção das Leituras

A tabela 1 mostra as medições realizadas pelos EM's sobre os EP's sob observação precisa dos AAA.

EP	1						2						3					
EM	Op. A			Op. B			Op. A			Op. B			Op. A			Op. B		
Altura (cm)	177	176	176	176	179	180	175	171	173	171	171	175	192	191	191	191	190	191
EP	4						5						EP: Elemento-peça EM: Elemento-mecedor					
EM	Op. A			Op. B			Op. A			Op. B								
Altura (cm)	164	162	162	166	162	162	181	184	185	185	185	185						

Tabela 1 – Dados obtidos nas medições

Para que as medições fossem realizadas da melhor forma possível, algumas atitudes foram tomadas baseadas no manual de análise de sistemas de medição MSA (CHRYSLER CORP. et al, 1995). Assim, assegurou-se que as medidas fossem feitas em uma ordem aleatória para que qualquer tendência que possa ocorrer estivesse dispersa aleatoriamente ao longo do estudo. As leituras foram estimadas para o número mais próximo que possa ser obtido.

O estudo foi observado por uma pessoa que sabia a importância do cuidado necessário para se conduzir um estudo confiável, aqui entra nosso AAA.

Para evitar grandes dispersões devidas a forma de se realizar a medição, cada EM utilizou o mesmo procedimento para obter as leituras.

No exercício, o professor deve estimular os alunos a formularem hipóteses sobre a variabilidade que eles estão observando durante as medições. Deve existir liberdade para que todos apresentem suas suposições (EP's, EM's, AAA), podendo ser feito um *Brainstorming*. Essas suposições devem ser anotadas.

3.5 A Análise dos Resultados

A partir dos dados obtidos nas leituras, que devem ser inseridos e processados no Minitab®, uma análise bastante vasta pode ser efetuada. Da figura 3 até a figura 7, são mostrados os gráficos e tabelas de análise de R&R que podem ser obtidos.

Os alunos nesse estágio devem analisar os gráficos e tabelas com a finalidade de confirmar as suposições já formuladas, elaborar novas hipóteses e concluir sobre a variabilidade dos operadores, do sistema de medição e do processo (peças).

A forma como são expressos os resultados facilita a análise visual de como ocorre a variabilidade nesse processo de medição. A figura 3 mostra claramente como foi a dispersão de cada um dos operadores na medição de cada peça.

Nessa primeira análise visual, os alunos percebem que os resultados apresentados pelos operadores (reprodutibilidade) são próximos e que a dispersão deles (repetitividade) em relação à dispersão das peças é pequena.

Ainda nessa fase de análise os alunos formularam uma hipótese adicional: Ao perceberem que o EM identificado como Op. B, repetiu exatamente as três leituras da altura do EP 5, suspeitaram da interação entre operador e peça. No exercício, o EP 5 era do sexo feminino, e por acaso uma das mais atraentes do grupo. O Op B, um jovem nissei que parecia muito entusiasmado em medir a altura do EP 5. A turma suspeitou que ele tivesse decorado os resultados, em função de um interesse que iria além dos objetivos propostos pelo exercício. A hipótese formulada foi de que o Op. B estivesse apaixonado pela EP 5.

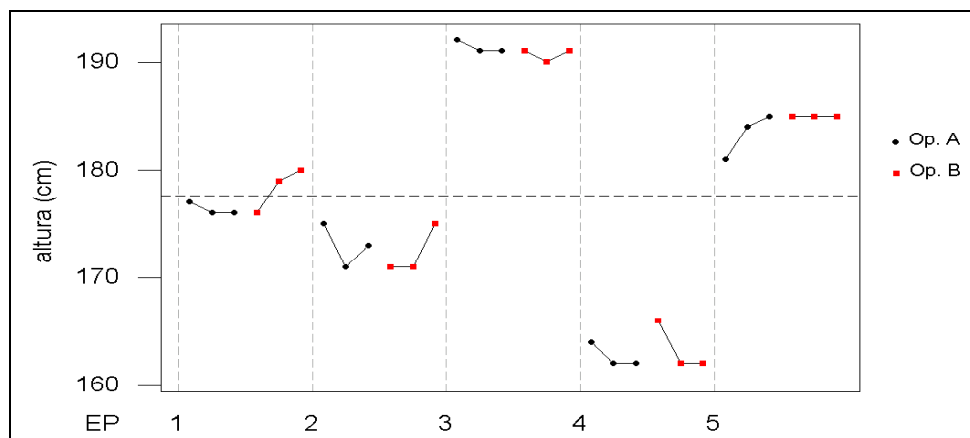


Figura 3 – Gráfico Comparativo das alturas dos EP's geradas pelos EM's

A contribuição de cada componente de variação na variação total, fica mais clara na análise do gráfico da figura 4. As barras escuras correspondem à dispersão observada e as hachuradas à dispersão estimada. Novamente, por meios visuais, percebe-se que o R&R tem pouca influência na variabilidade dos resultados.

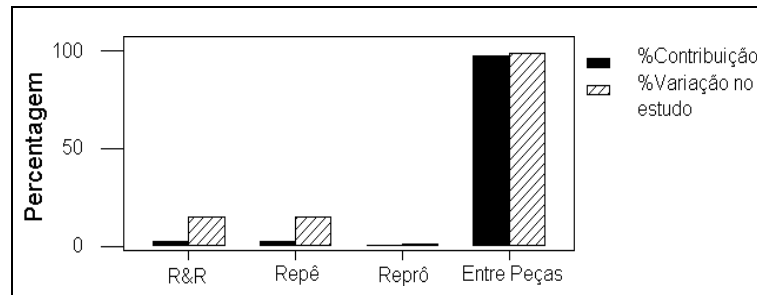


Figura 4 – Gráfico dos Componentes de Variação

A figura 5 apresenta o resumo das estatísticas calculadas com os respectivos *P-values*. Os alunos estão habituados com a análise de *P-value* em teste de hipóteses e a partir dessa tabela eles confirmam ou rejeitam as hipóteses formuladas anteriormente.

Tabela ANOVA para duas variáveis com interação					
Fonte	DF	SS	MS	F	P
Peça	4	2761,47	690,367	291,704	0,00003
Avaliador	1	2,70	2,700	1,141	0,34565
Avaliador*Peça	4	9,47	2,367	0,922	0,47064
Repetitividade	20	51,33	2,567		
Total	29	2824,97			

Tabela ANOVA para duas variáveis SEM interação					
Fonte	DF	SS	MS	F	P
Peça	4	2761,47	690,367	272,513	0,00000
Avaliador	1	2,70	2,700	1,066	0,31219
Repetitividade	24	60,80	2,533		
Total	29	2824,97			

R&R		
Fonte	VarComp	%Contribuição (of VarComp)
Total Gage R&R	2,54	2,17
Repetitividade	2,53	2,16
Reprodutividade	0,01	0,01
Avaliador	0,01	0,01
Peças	114,64	97,83
Variação Total	117,18	100,00

Source	Desvpad (SD)	Variação (5,15*SD)	%Variação no estudo (%SV)
Total Gage R&R	1,5951	8,2149	14,74
Repetitividade	1,5916	8,1970	14,70
Reprodutividade	0,1054	0,5429	0,97
Avaliador	0,1054	0,5429	0,97
Peças	10,7070	55,1408	98,91
Variação Total	10,8251	55,7494	100,00

Número de categorias distintas = 9

Figura 5 – Planilha de resultados

A primeira hipótese a ser verificada é a da existência de interação entre avaliador e peça, uma vez que são elaboradas duas tabelas. Uma das tabelas considera a interação e outra não considerando. A expectativa dos alunos era grande. Caso essa hipótese fosse aceita, era provável que o jovem nissei estivesse realmente apaixonado.

A análise do *P-value* para essa interação apresentou um valor próximo de 0,47, o que indica que essa interação não é significativa. A figura 6 confirma o comportamento semelhante dos dois operadores para a medição, independente da peça Um alívio para o jovem nissei que estava se sentindo pressionado pela turma.

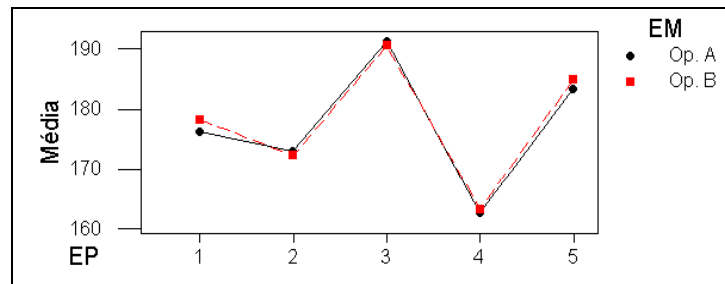


Figura 6 – Gráfico de interação entre EP e EM.

Como a interação entre avaliador e peça não é significativa, a análise prossegue na tabela *ANOVA* para duas variáveis SEM interação.

A próxima hipótese analisada e que é confirmada é a de que a variação entre as peças é significativa, *P-value* = 0,00.

Outra hipótese analisada e que é rejeitada é que existe diferença entre as medições dos dois operadores, *P-value* = 0,31. A figura 7 mostra isso.

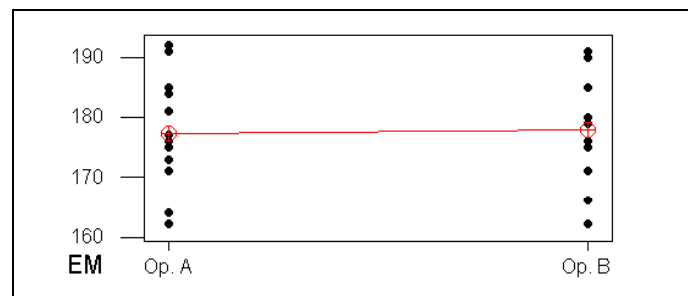


Figura 7 – Gráfico de variação dos Elementos-Medidores

Por fim, na figura 5, também aparece o número de categorias distintas igual a 9, que pode ser interpretado como o número de classes de alturas diferentes que podem ser percebidas utilizando-se esse processo de medição, relacionado efetivamente com a resolução da medição.

Com a análise efetuada os alunos concluíram que o processo de medição (operadores, sistemas de medição e procedimentos empregados) é adequado aos fins da empresa Arthur e Arthura, não necessitando de alterações para que seja empregado na coleta de dados de alturas de membros da população para os futuros estudos antropométricos. A variabilidade estimada do processo de medição corresponde a aproximadamente 14% da variabilidade total estimada, valor próximo dos 10% que é o limite da faixa considerada ideal pelo manual de análise de sistemas de medição MSA (CHRYSLER CORP. et al, 1995).

4. Conclusão

O exercício proposto nesse artigo tem se mostrado bastante eficaz e eficiente no aprendizado de repetitividade e reprodutividade, tanto na formação de *Green Belts*, *Black Belts* e de Estudantes de Engenharia.

A atuação dos alunos, de forma ativa, faz com que eles percebam facilmente os objetivos do estudo. O fato de eles fazerem parte do problema incentiva-os a buscarem uma solução. Eles começam a formular hipóteses e ficam ávidos pela comprovação das mesmas. Existem muitas possibilidades de humor durante a realização do exercício. É correto afirmar que os alunos aprendem brincando.

A intervenção do professor é mínima. Ele apresenta o problema e elucida algumas dúvidas relacionadas aos conceitos e a metodologia. É também correto afirmar que o professor ensina menos e os alunos aprendem mais.

O acompanhamento dos alunos que já participaram do exercício, tem mostrado que eles apresentam grande assimilação dos conceitos de R&R e principalmente que são capazes de generalizar sua aplicação para diversas áreas do conhecimento.

Referências

BREYFOGLE III, F. W. (1999) – *Implementing Six Sigma, Smarter Solutions Using Statistical Methods*. John Wiley & Sons, Inc. New York.

CHRYSLER CORPORATION, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION – *Measurement Systems Analysis, Reference Manual*, 2nd Ed.

FELDER, R.M., BRENT, R. (1994) - *Cooperative Learning in Technical Courses: Procedures, Pitfalls, and Payoffs*. Report to the National Science Foundation. ERIC Document Reproduction Service No. ED 377 038.

HARRY, M. J. (1998) – *Six Sigma - a breakthrough strategy for probability*. Quality Progress, p. 60 – 64.

JOHNSON, D.W., R.T. JOHNSON AND K.A. SMITH (1998) - *Active Learning, Cooperation in the College Classroom*, 2nd Ed. Edina, MN: Interaction Book Company.

TAILLE, Y; OLIVEIRA, M. K.; DANTAS, H. (1992) - *Piaget, Vygotsky e Wallon - teorias psicogenéticas em discussão*. Summus Editorial: São Paulo.