

## A metodologia de Taguchi

Este texto foi extraído do item 12.5, pp. 414-433 do livro de Montgomery.

A metodologia proposta por Genechi Taguchi, no início da década de 80, apresenta três objetivos principais:

- 1) Projetar produtos ou processos que sejam robustos em relação às condições ambientais;
- 2) Projetar e desenvolver produtos que sejam robustos à variabilidade de seus componentes;
- 3) Minimizar a variabilidade em torno de um valor nominal.

O termo robusto pode ser aplicado para produtos e processos que apresentem desempenho compatível com a qualidade exigida e que sejam relativamente insensíveis aos fatores que sejam de difícil controle.

Segundo Taguchi, existem três estágios no desenvolvimento de um produto ou processo: o projeto do sistema (*system design*), o projeto dos parâmetros (*parameter design*) e o projeto das tolerâncias (*tolerance design*).

O uso de métodos estatísticos para o planejamento experimental é especialmente importante nos dois últimos estágios, favorecendo a obtenção de produtos e processos robustos, insensíveis a fatores incontroláveis que possam influenciar seu desempenho.

A metodologia de planejamento experimental proposta por Taguchi pode ser apresentada no exemplo descrito a seguir.

Deseja-se escolher um método de montagem que permita maximizar a força necessária para arrancar um conector de elastômero montado em um tubo de nylon.

Foram identificadas quatro variáveis de influência, que podem ser controladas nas operações rotineiras do processo, e três fontes de variabilidade que são incontroláveis, ou seja, que não se pode ou não se deseja controlar durante as atividades de rotina. Essas variáveis e fontes, e seus respectivos níveis, estão mostradas na tabela abaixo.

Variáveis de influência		Níveis	
A = Interferência dimensional	Baixo	Médio	Alto
B = Espessura da parede do conector	Fina	Média	Espessa
C = Profundidade de montagem	Rasa	Média	Profunda
D = Porcentagem de adesivo no conector	Baixa	Média	Alta
Fontes de variabilidade			
E – Tempo de secagem do adesivo	24 horas	120 horas	
F – Temperatura de secagem do adesivo	72 °F	150 °F	
G – Umidade relativa na secagem do adesivo	25%	75%	

De acordo com a metodologia de Taguchi, dois planejamentos são empregados para o projeto dos parâmetros: um arranjo ortogonal  $L_9$  para as variáveis de influência, em que as linhas representam cada ensaio realizado nas condições definidas pelos níveis (1, 2 e 3) definidos para essas variáveis. Esse arranjo  $L_9$  irá acomodar as quatro variáveis com três níveis cada em nove ensaios.

Já para as fontes de variabilidade será usado um arranjo ortogonal  $L_8$ , que é um planejamento que pode ser empregado para até sete fontes com dois níveis cada em oito ensaios. Como neste exemplo há apenas três fontes, as colunas restantes podem ser usadas para estimar a interação dessas fontes.

O objetivo de usar-se o arranjo  $L_8$  é de criar variabilidade de modo que se possa identificar os níveis das variáveis de influência que são menos sensíveis às fontes de variabilidade.

Os arranjos ortogonais são planejamentos fatoriais fracionados, ou seja, planejamentos fatoriais que têm o número de ensaios reduzidos ao se considerar somente os efeitos das variáveis de influência e de algumas de suas interações. Isso pode ser feito quando se conhece previamente que a interação de algumas variáveis não apresentará influência significativa sobre a variável de resposta. Assim, o arranjo  $L_8$  é um planejamento fatorial fracionado  $2_{III}^{7-4}$  e o  $L_9$  é um  $3_{III}^{4-2}$ . Leia mais sobre planejamentos fatoriais fracionados em Montgomery, nos capítulos 11 e 12.

A tabela abaixo apresenta os dois arranjos ortogonais empregados neste exemplo.

Arranjo ortogonal $L_9$					Arranjo ortogonal $L_8$							
Variáveis					Fontes							
Ensaio	A	B	C	D	Ensaio	E	F	E x F	G	E x G	F x G	e
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3	1	2	2	1	1	2	2
4	2	1	2	3	4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	2	3	1	5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	3	1	2	6	2	1	2	2	1	2	1
7	3	1	3	2	7	2	2	1	1	2	2	1
8	3	2	1	3	8	2	2	1	2	1	1	2
9	3	3	2	1								

A tabela a seguir apresenta a combinação desses dois arranjos, o que é denominado layout completo de projeto de parâmetros. Nesse layout, o arranjo  $L_9$  é denominado arranjo interno e o arranjo  $L_8$  é o arranjo externo. Desse modo cada uma das nove combinações do arranjo interno é testado nas 8 combinações do arranjo externo, o que fornece uma amostra com 72 ensaios, cujos resultados também estão mostrados na tabela a seguir.

Ensaio	Fontes				Resultados de força de arrancamento										$\bar{y}$	$SN_L$
	A	B	C	D	E	F	G	1	2	3	4	5	6	7		
1	1	1	1	1	15.6	9.5	16.9	19.9	19.6	19.6	20.0	19.1	17.525	24.025		
2	1	2	2	2	15.0	16.2	19.4	19.2	19.7	19.8	24.2	21.9	19.475	25.522		
3	1	3	3	3	16.3	16.7	19.1	15.6	22.6	18.2	23.3	20.4	19.025	25.335		
4	2	1	2	3	18.3	17.4	18.9	18.6	21.0	18.9	23.2	24.7	20.125	25.904		
5	2	2	3	1	19.7	18.6	19.4	25.1	25.6	21.4	27.5	25.3	22.825	26.908		
6	2	3	1	2	16.2	16.3	20.0	19.8	14.7	19.6	22.5	24.7	19.225	25.326		
7	3	1	3	2	16.4	19.1	18.4	23.6	16.8	18.6	24.3	21.6	19.850	25.711		
8	3	2	1	3	14.2	15.6	15.1	16.8	17.8	19.6	23.2	24.2	18.338	24.852		
9	3	3	2	1	16.1	19.9	19.3	17.3	23.1	22.7	22.6	28.6	21.200	26.152		

O método de Taguchi propõe que se analise a resposta média para cada combinação no arranjo interno, e que a variabilidade seja analisada escolhendo uma razão sinal-ruído ( $SN$ ) apropriado. Três razões  $SN$  padrão são amplamente empregadas:

- 1) A *melhor nominal*  $SN_T$ , usada quando se deseja reduzir a variabilidade em torno de um valor nominal:

$$SN_T = 10 \cdot \log \left( \frac{\bar{y}^2}{S^2} \right)$$

- 2) A *quanto maior melhor*  $SN_L$ , usada quando se deseja maximizar os resultados, que é o caso deste exemplo:

$$SN_L = -10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

- 3) A *quanto menor melhor*  $SN_S$ , usada quando se deseja minimizar os resultados:

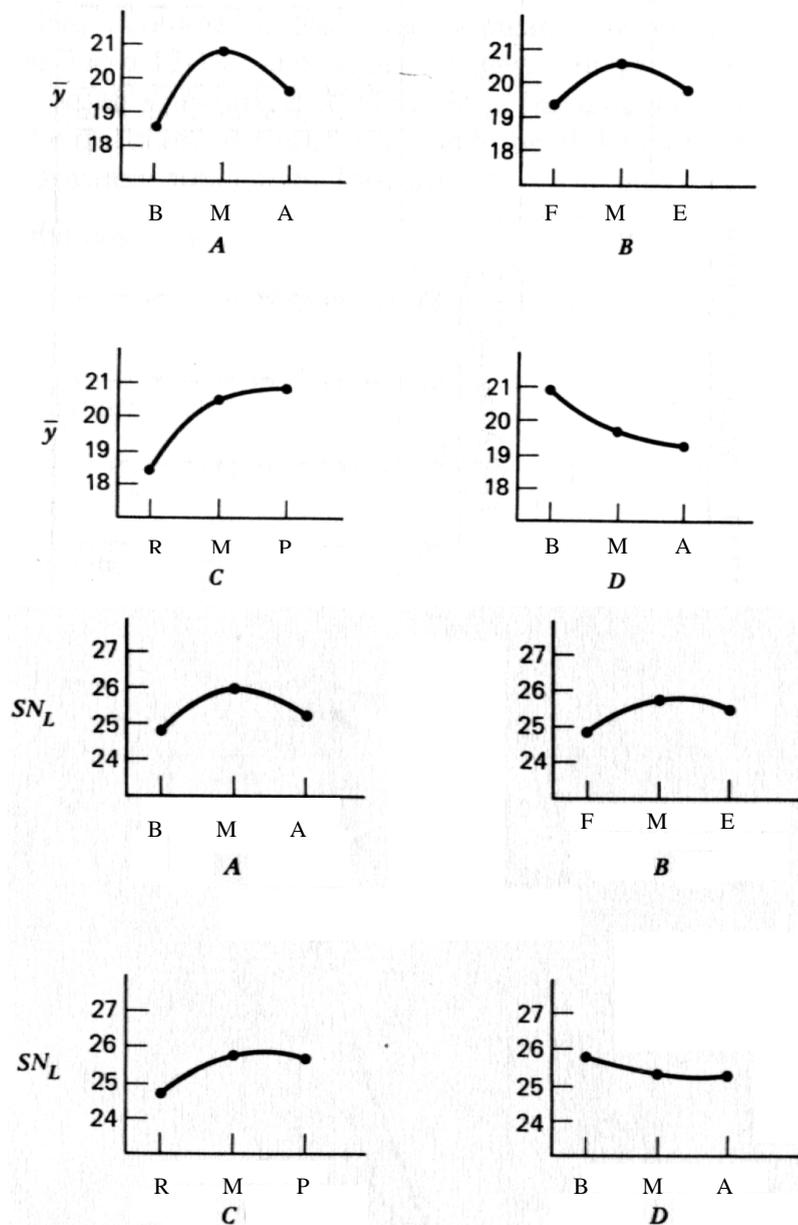
$$SN_S = -10 \cdot \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$$

Assim, os níveis ótimos das variáveis de influência são aqueles que maximizam o  $SN$  apropriado para cada análise estatística específica.

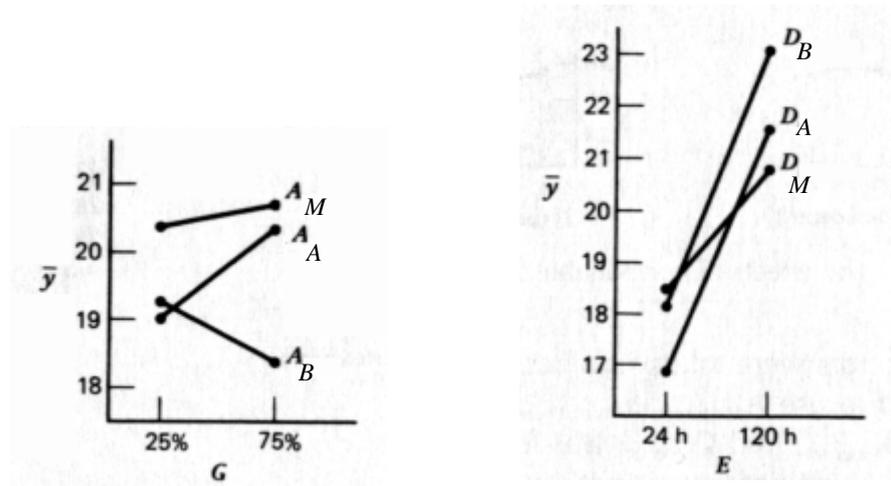
Na metodologia de Taguchi a análise é feita com gráficos como mostrados a seguir, com os resultados dos valores médios e das razões  $SN$  para cada variável de influência e seus níveis.

Neste exemplo, os níveis ótimos serão aqueles que maximizarem tanto a força, quanto a razão  $SN_L$ . Assim, deve-se escolher  $A_{médio}$ ,  $C_{médio}$ ,  $B_{médio}$  e  $D_{baixo}$  para maximizar a força média  $\bar{y}$  e  $A_{médio}$ ,  $C_{profundo}$ ,  $B_{médio}$  e  $D_{baixo}$  para maximizar  $SN_L$  e assim, minimizar a variabilidade dos resultados.

Como praticamente não existe diferença entre  $C_{médio}$  e  $C_{profundo}$  pode-se adotar qualquer um desses níveis que levariam a uma maximização do valor média e à minimização da variabilidade.



Segundo Taguchi, o uso das razões  $SN$  geralmente elimina a necessidade de avaliar-se as interações das variáveis de influência com as fontes de variabilidade, o que não ocorre neste exemplo, pois se observarmos a figura a seguir, notaremos forte interação entre  $AG$  e  $DE$ , de modo que  $A_{\text{medio}}$  seria o melhor nível pois forneceria a maior força e não seria afetado pela umidade (fonte  $G$ ). Também da figura observa-se que  $D_{\text{baixo}}$  fornece a maior força independentemente do tempo de secagem do adesivo.



A grande crítica que se faz à metodologia de Taguchi é o fato dela não considerar os efeitos das interações das variáveis de influência, o que pode ser estatisticamente incorreto em algumas análises, pois como foi destacado, os arranjos ortogonais empregados por Taguchi nada mais são do que planejamento fatorial fracionados, que foram originalmente desenvolvidos para situações em que previamente descartavam-se os efeitos de algumas interações de variáveis.

Além do livro do Montgomery, outras fontes de consulta sobre o método de Taguchi:

- Taguchi, Genichi, Introduction to quality engineering : designing quality into products and processes, Tokyo, Asian Productivity Organization, 1986, Tombo 620.0045 T129i – IMECC e BAE.
- Ross, Phillip J., Taguchi techniques for quality engineering: loss function, orthogonal experiments, parameter and tolerance design, New York, McGraw-Hill, 1988, Tombo 620.0045 R733t – BAE.
- Peace, Glen Stuart, Taguchi methods :a hands-on approach, Reading, Mass. :Addison-Wesley, 1994, Tombo 658.562 P313t – IMECC
- Vivacqua, Carla Almeida, Uma apresentação e critica aos metodos de Taguchi em planejamento de experimentos, Campinas, SP :[s.n.], 1995, Tombo T/UNICAMP V836a – Teses IMECC.