

# Como fazer um DOE com sucesso

## Parte I: Conceituação e planejamento

(<http://www.statistical.com.br/artigos.asp>)

Carlos H. Domenech

### Em 50 palavras ou menos

- O DOE é uma ferramenta poderosa do Seis Sigma que pode ser aplicada nas áreas mais diversas, não somente nas produtivas.
- Para se ter sucesso, porém, há muitos antidotos que se podem usar para que as variáveis não controladas não afetem a validade do modelo estatístico.

### Introdução: o DOE no ciclo DMAIC

Histo Doe é um Black Belt totalmente dedicado à coordenação de projetos de melhoria Lean Seis Sigma em diversos processos da sua empresa. Também atua no treinamento dos Green Belts que coordenam projetos mais focados.

Histo Doe está preparando um treinamento sobre planejamento de experimentos (DOE ou “Design Of Experiments”). Ele é um apaixonado por planejamento experimental ao ponto que sempre lembra de uma frase de uma música de Cole Porter: “*Experimente. Faça disto sua norma dia e noite. Experimente, e isto lhe conduzirá à luz*”. Há tantas idéias e conceitos que devem ser mostrados que está atormentado sobre a maneira de simplificar o curso.

“Poderia primeiramente mostrar a ligação do DOE com outras ferramentas e conceitos do DMAIC, ummm... acho que é uma boa idéia”. Para isto fez a Figura 1 na qual se destacam: i) questões do DMAIC com alguma ligação com o DOE, ii) um gráfico que mostra de maneira muito genérica como é reduzido o número de variáveis de processo ou entrada (x) ao longo do DMAIC e iii) as ferramentas usadas para responder questões relevantes para o DOE ou para reduzir o número de variáveis candidatas. Da Figura 1 observa-se que a aplicação do DOE é mais indicada depois que as possíveis variáveis x foram reduzidas a um número manejável usando outras ferramentas. Isto não impede, como se menciona no artigo de Nachtsheim (2003), que a experimentação planejada possa ser aplicada em todas as fases do DMAIC.

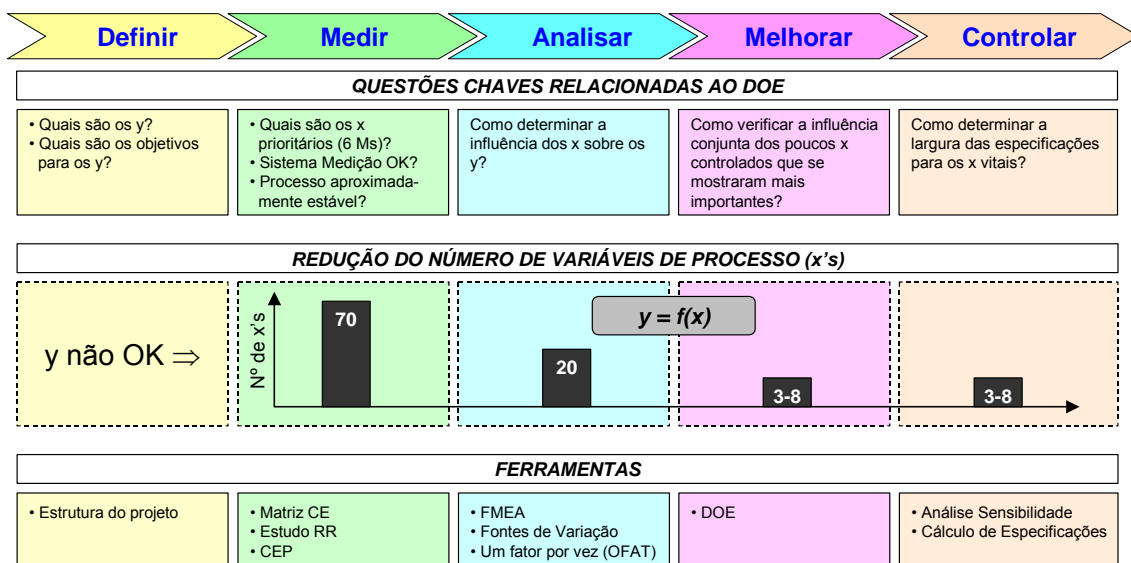


Figura 1 – Ligação do DOE com outras ferramentas do ciclo DMAIC do Lean Seis Sigma

## Como o DOE concorre com outras ferramentas de amostragem?

O próximo passo, pensou Histo Doe, seria ilustrar o poder da ferramenta. Isto explicaria sua redescoberta pelas indústrias ocidentais, após a grande difusão feita no Japão pelo Dr. Taguchi.

O DOE é um método de amostragem ou metodologia de experimentação que vai “contra o bom senso”. Sempre que Histo Doe pergunta “se vocês tivessem que modificar 3 variáveis de um processo:  $x_1$ ,  $x_2$  e  $x_3$  para verificar a influência delas sobre uma variável de saída  $y$ , como vocês atuariam?”, a resposta invariavelmente é: “fixaríamos  $x_2$  e  $x_3$ , modificaríamos  $x_1$ , obteríamos o melhor ponto de  $x_1$ , fixaríamos então  $x_1$  e  $x_3$  e modificaríamos  $x_2$ , e assim sucessivamente”. Embora muito difundida, esta estratégia não é a melhor. Na revista Byte de abril de 1995, reportagem de capa, o autor, Halfhill destacava: “Em qualquer experimento científico, o objetivo é controlar todas as variáveis exceto aquela que está sendo testada”. Como veremos a seguir esta afirmação está errada!

No DOE todas as variáveis controladas são modificadas simultaneamente e mede-se o resultado nas variáveis de saída com o objetivo de obter um modelo empírico da relação  $y = f(x)$ . Além disso, são utilizados alguns antídotos para proteger a seqüência de ensaios da influência indesejada de variáveis não controladas que poderiam introduzir vícios nas conclusões.

Histo Doe lembra que no artigo de Domenech (2004) da revista Banas, já se mostrou o posicionamento do DOE comparado a outras ferramentas de amostragem. A Figura 2 reproduz novamente os diversos planos de amostragem.

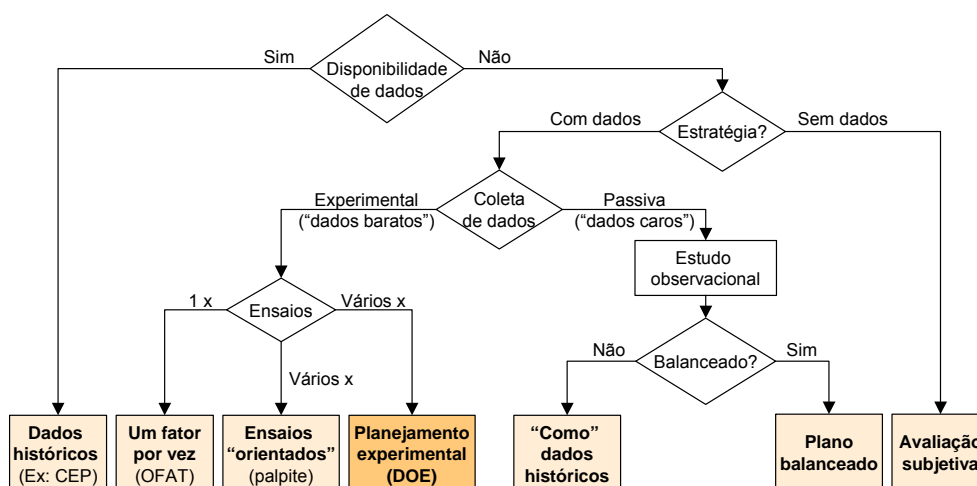


Figura 2 – Planos de amostragem (posicionamento do DOE)

Vejam algumas vantagens do DOE quando comparado com alguns destes planos.

**DOE vs dados históricos:** Histo DOE já viu muitas situações nas quais os profissionais acumulam dados do processo durante um longo período com o intuito de encontrar relações empíricas que permitam otimizar o processo. Ele nunca chegou a grandes descobertas usando esta estratégia. Há diversos motivos que explicam este insucesso.

Exemplo 1: se a variável de processo,  $x$ , é bem controlada em um pequeno range de variação, existirá o risco de concluir erroneamente que não existem efeitos importantes (Figura 3).

Exemplo 2: poderíamos então pensar, quanto maior o descontrole do processo, tanto melhor já que aumenta a janela de observação. O problema reside no fato de que quando isso acontece, a saída fica também descontrolada. Nesse caso os responsáveis do processo modificam simultaneamente várias variáveis para que a saída retorne ao estado de controle. Qual é o inconveniente de fazer isto? Considere o seguinte exemplo, denominado de “correlação espúria”. Tomemos o caso de um processo de polimerização em que se trabalha da seguinte forma: quando a viscosidade do produto aumenta (devido a alguma variável não controlada), aumenta-se a adição de um ácido que quebra as cadeias do polímero e faz com que a viscosidade volte ao normal (Figura 4a). Em outra situação, se a viscosidade do polímero diminui, diminui-se a quantidade de ácido para que aumente a viscosidade (Figura 4b). Se um técnico tentasse estabelecer a relação entre volume de ácido (x) e viscosidade (y), qual seria ser a relação observada? (Figura 4c). O aumento de ácido faz aumentar a viscosidade! Essa conclusão está certa?

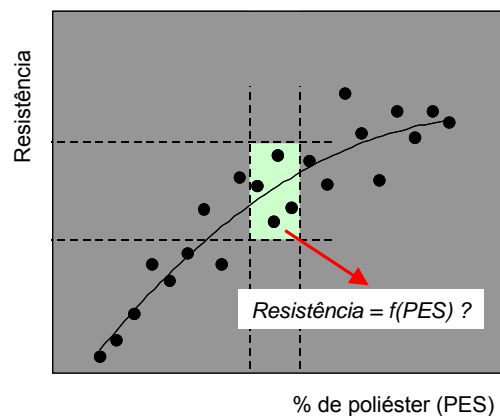


Figura 3 – Há ou não correlação entre a viscosidade de um polímero e a resistência do material?

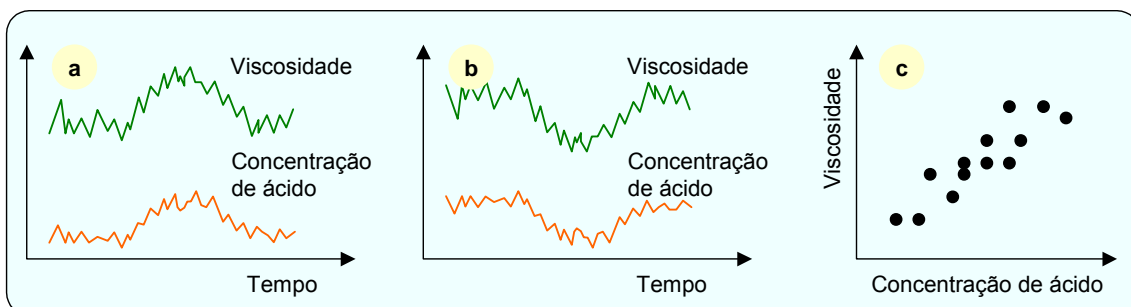


Figura 4 – Geração de correlação espúria pelas atuações no processo

**DOE vs OFAT:** Histo Doe lembra de um exemplo apresentado por Hellstrand (1989) em que se realizou um experimento na empresa SKF para aumentar o tempo de vida (y) do rolamento. Os técnicos fizeram um brainstorming das variáveis mais importantes do processo. Duas destas variáveis foram (Figura 5): x1 = “Tratamento de aquecimento do anel interno (padrão e modificado)” e x2 = “Osculação do anel externo: quociente entre o diâmetro da esfera e o raio da pista do anel externo (padrão e modificado)”.

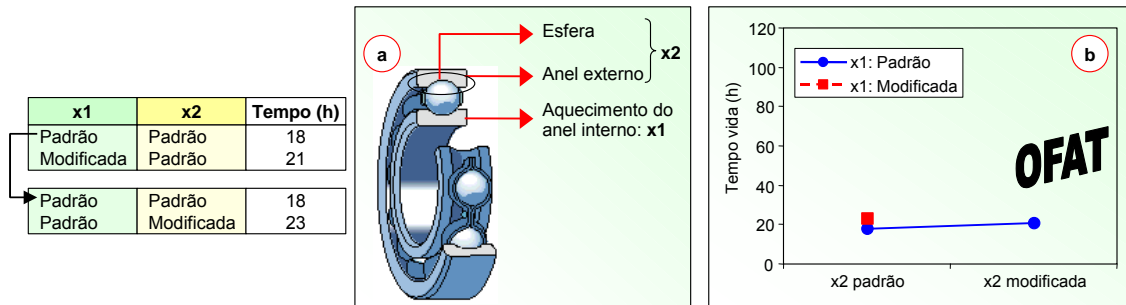


Figura 5 – Experimento da SKF e enfoque de modificar um fator por vez (OFAT)

Se os técnicos tivessem escolhido o enfoque de modificar um fator por vez (**One Factor At the Time = OFAT**), os resultados poderiam ter sido os seguintes (Figura 5): eles poderiam ter fixado  $x_1$  na condição padrão e alterado o aquecimento nas condições padrão e modificada. Como o tempo de vida quase não mudou (passou de 18 para 21 horas), teriam ficado com o aquecimento padrão (já conhecido por eles). A seguir modificariam  $x_2$  e observariam um tempo de vida igual a 23 horas. A conclusão desta estratégia seria que nem o aquecimento nem o anel externo influenciam no tempo de vida, mas esta conclusão mostrou-se errada. Quando o pessoal fez o experimento faltante (completaram o DOE, combinando os níveis de todos os fatores), o tempo de vida foi 106 horas (Figura 6), ou seja, quase se multiplicou por cinco o tempo de vida!

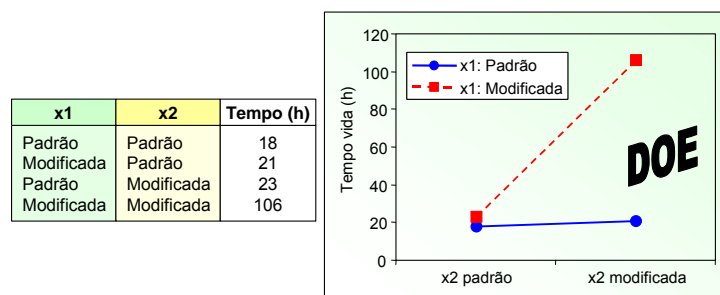


Figura 6 – Experimento da SKF e o enfoque de combinar os dois fatores (DOE)

### Notação básica

Histo Doe sabe que toda tribo que se preze tem sua linguagem própria. Com o DOE não é diferente. Para introduzir a notação básica do DOE faremos referência ao processo da Figura 7. Definimos os seguintes termos:

- **Fatores controlados:** variáveis do processo,  $x$ , que podem ser alteradas durante a experimentação para determinar o efeito nas saídas. As condições testadas para cada fator denominam-se “Níveis”.
- **Fatores não-controlados:** variáveis que deveriam permanecer constantes durante a experimentação, mas que podem variar afetando as saídas.
- **Resposta:** variáveis de saída,  $y$ , que devem ser otimizadas.
- **Modelo:** equação que relaciona a resposta com as variáveis de entrada controladas.

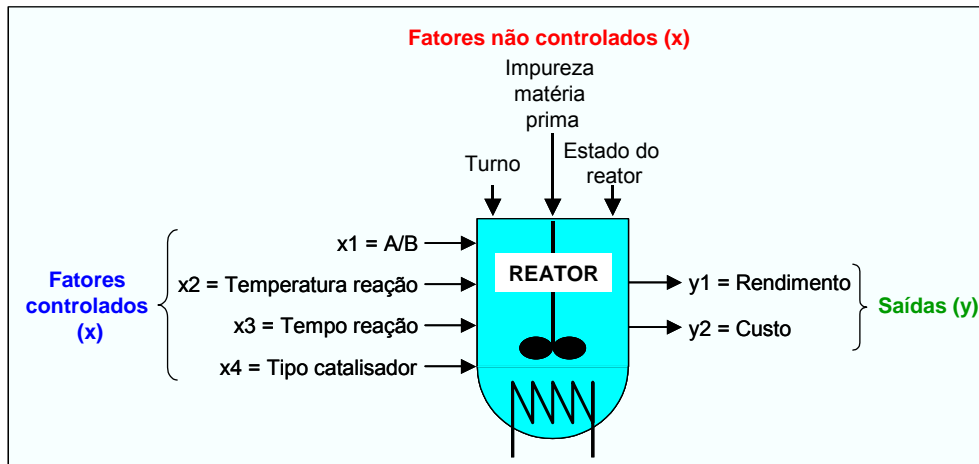


Figura 7 – Exemplo de um processo com ilustração de variáveis de entrada e saída

As formas de combater a influência dos fatores não controlados para chegar ao modelo apropriado do processo estão na Figura 8.

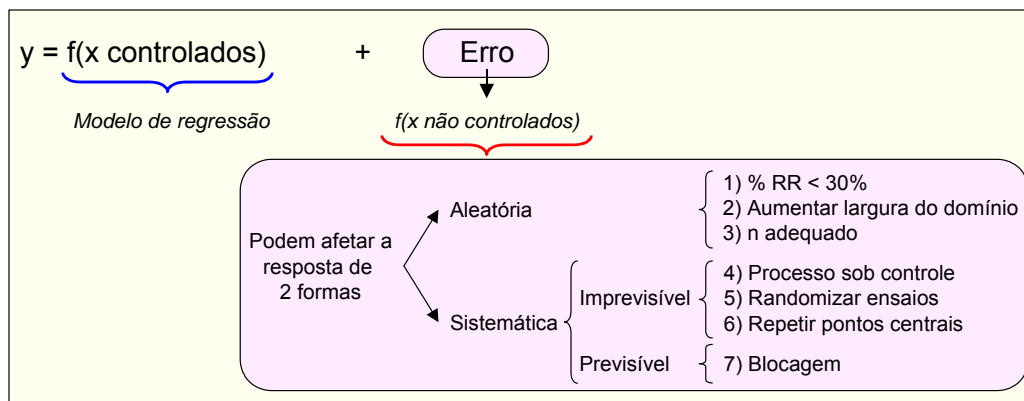


Figura 8 – Sete antídotos para que o DOE seja um sucesso

Na Figura 9 há um resumo das dicas sugeridas para o sucesso do nosso DOE.

Antídoto	Motivo	Observações																																																																
1) %RR < 30%	O sistema de medição da variável resposta não pode apresentar uma grande variação, pois esconderá o efeito dos fatores x.	$\%RR = \frac{\sigma_{MS}}{\sigma_{Total}} \times 100$ , onde: $\sigma_{MS}$ = desvio padrão da medição $\sigma_{Total}$ = desvio padrão total do processo																																																																
2) Aumentar largura do domínio experimental	Para se obter um modelo confiável deve-se aumentar o quociente sinal/ruído. Quando a variável x tem efeito sobre a resposta o aumento da largura permite aumentar o sinal.																																																																	
3) Repetir os ensaios	Histo Doe não recomenda fazer experimentos com menos do que 16 ensaios. Quando há 16 ensaios e cada fator tem dois níveis, cada nível será repetido 8 vezes, o que permite aumentar o quociente sinal/ruído, diminuindo o denominador																																																																	
4) Verificar se o processo está aproximadamente sob controle	Um efeito sistemático imprevisível da resposta é aquele que altera a média do processo sem aviso prévio. Exemplo: a mudança de uma matéria prima introduzida aos poucos poderia gerar uma tendência																																																																	
5) Randomizar os ensaios <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>x1</th> <th>x2</th> <th>x3</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>A medir</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Não randomizado</p>	x1	x2	x3	y	-	-	-	A medir	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	Se há efeitos sistemáticos imprevisíveis e os ensaios não são randomizados, o efeito dos fatores pode ser confundido com o efeito da tendência. Exemplo: suponha que x3 não tem efeito na resposta ou os ensaios não são randomizados e há efeito dos x não controlados.																									
x1	x2	x3	y																																																															
-	-	-	A medir																																																															
+	+	+	-																																																															
+	+	-	-																																																															
+	-	+	-																																																															
+	-	-	+																																																															
-	+	+	+																																																															
-	+	-	+																																																															
-	-	+	+																																																															
-	-	-	+																																																															
6) Repetir os pontos centrais (0) ao longo da matriz <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>x1</th> <th>x2</th> <th>x3</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>A medir</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Randomizado e com pontos centrais repetidos</p>	x1	x2	x3	y	-	+	+	A medir	+	+	+	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	Como o mesmo ponto é repetido várias vezes, pode-se checar se o processo manteve-se sob controle.	
x1	x2	x3	y																																																															
-	+	+	A medir																																																															
+	+	+	-																																																															
+	+	-	-																																																															
+	+	+	-																																																															
+	+	-	-																																																															
+	-	+	-																																																															
+	-	-	+																																																															
+	-	+	+																																																															
+	-	-	+																																																															
-	+	+	+																																																															
-	+	-	+																																																															
-	+	+	+																																																															
-	+	-	+																																																															
-	-	+	+																																																															
-	-	-	+																																																															
7) Rodar os ensaios em blocos <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>x1</th> <th>x2</th> <th>x3</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>A medir</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>+</td><td>-</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>+</td><td>-</td></tr> <tr><td>+</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>+</td><td>-</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>+</td><td>+</td></tr> <tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>+</td></tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Duas vezes</p>	x1	x2	x3	y	-	-	-	A medir	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	+	Suponha que vai repetir os 8 ensaios + 2 pontos centrais mais uma vez para totalizar 20 ensaios. Randomizo os 20 ensaios? Suponha que somente 10 ensaios podem ser feitos por dia e você pode prever diferenças entre 1 dia e o seguinte. Faça então 10 ensaios no dia 1 = bloco 1. Faça 10 ensaios no dia 2 = bloco 2. Randomize dentro de cada bloco.																									
x1	x2	x3	y																																																															
-	-	-	A medir																																																															
+	+	+	-																																																															
+	+	-	-																																																															
+	-	+	-																																																															
+	-	-	+																																																															
-	+	+	+																																																															
-	+	-	+																																																															
-	-	+	+																																																															
-	-	-	+																																																															

Figura 9 – Antídotos para o sucesso do DOE

## Aplicando os conceitos com a ajuda de um guia

Além das proteções da Figura 9 há uma série de questões organizacionais importantes para o sucesso do DOE. A Figura 10 é um guia de todos os itens que um bom experimentador deveria avaliar na hora de planejar seu experimento. Nesta figura foi considerado um plano para a modelagem do processo ilustrado na Figura 7.

DOE para otimização de rendimento e custo do produto XYZ																																																																																																																														
Processo:	Polimerização do produto XYZ																																																																																																																													
Process owner:	João Torquato																																																																																																																													
Time (líder, integrantes):	<b>Líder:</b> Histo DoeBB <b>Integrantes:</b> João Torquato      Process Owner Roberto Macedo    Supervisor de processo Mario Bitel        Operador Alexandre Silva    Analista																																																																																																																													
Objetivo do experimento:	Maximizar o rendimento, mantendo o custo abaixo de 10,2.																																																																																																																													
Respostas	Unidades	% RR?	Processo sob controle?																																																																																																																											
Rendimento	kg/h	7%	OK																																																																																																																											
Custo	US\$	OK	OK																																																																																																																											
Fatores controlados	Unidades	Níveis (maximize o range)	Processo sob controle?																																																																																																																											
x1: proporção de aditivos	-	0,5 – 1,5	OK																																																																																																																											
x2: temperatura da reação	°C	180-190	OK																																																																																																																											
x3: tempo de reação	h	3-4	OK																																																																																																																											
Fatores não controlados, previsíveis ou imprevisíveis:	Lote da matéria prima, turno, estado do reator, ...																																																																																																																													
Total de ensaios (n ≥ 16, excluindo os centrais):	16 ensaios + 6 pontos centrais. O ensaio completo será repetido.																																																																																																																													
Randomização (total/ restrita):	Será feita randomização restrita dos ensaios para facilitar a execução do experimento.																																																																																																																													
Uso de blocos:	As duas repetições do experimento serão feitas em dois blocos: 11 ensaios em um dia e os restantes 11 em outro.																																																																																																																													
Matriz de ensaios e ordem de execução:	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Bloco</th> <th>x1</th> <th>x2</th> <th>x3</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2</td><td>0,5</td><td>180</td><td>3,0</td><td rowspan="11">A medir</td></tr> <tr><td>2</td><td>2</td><td>1,0</td><td>185</td><td>3,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>2</td><td>1,5</td><td>180</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>2</td><td>0,5</td><td>190</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>2</td><td>0,5</td><td>190</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>2</td><td>1,0</td><td>185</td><td>3,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>2</td><td>1,5</td><td>180</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>2</td><td>1,5</td><td>180</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>2</td><td>1,0</td><td>185</td><td>3,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>2</td><td>1,5</td><td>190</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>11</td><td>2</td><td>0,5</td><td>190</td><td>4,0</td></tr> </tbody> </table>	Run	Bloco	x1	x2	x3	y	1	2	0,5	180	3,0	A medir	2	2	1,0	185	3,5	3	2	1,5	180	4,0	4	2	0,5	190	3,0	5	2	0,5	190	3,0	6	2	1,0	185	3,5	7	2	1,5	180	3,0	8	2	1,5	180	4,0	9	2	1,0	185	3,5	10	2	1,5	190	4,0	11	2	0,5	190	4,0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Run</th> <th>Bloco</th> <th>x1</th> <th>x2</th> <th>x3</th> <th>y</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>12</td><td>1</td><td>1,0</td><td>185</td><td>3,5</td><td rowspan="11">A medir</td></tr> <tr><td>13</td><td>1</td><td>0,5</td><td>190</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>14</td><td>1</td><td>0,5</td><td>190</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>15</td><td>1</td><td>1,5</td><td>180</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>16</td><td>1</td><td>1,5</td><td>180</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>17</td><td>1</td><td>1,0</td><td>185</td><td>3,5</td></tr> <tr><td>18</td><td>1</td><td>0,5</td><td>180</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>19</td><td>1</td><td>0,5</td><td>180</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>20</td><td>1</td><td>1,5</td><td>190</td><td>4,0</td></tr> <tr><td>21</td><td>1</td><td>1,5</td><td>190</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>22</td><td>1</td><td>1,0</td><td>185</td><td>3,5</td></tr> </tbody> </table>	Run	Bloco	x1	x2	x3	y	12	1	1,0	185	3,5	A medir	13	1	0,5	190	4,0	14	1	0,5	190	3,0	15	1	1,5	180	3,0	16	1	1,5	180	4,0	17	1	1,0	185	3,5	18	1	0,5	180	4,0	19	1	0,5	180	3,0	20	1	1,5	190	4,0	21	1	1,5	190	3,0	22	1	1,0	185	3,5
Run	Bloco	x1	x2	x3	y																																																																																																																									
1	2	0,5	180	3,0	A medir																																																																																																																									
2	2	1,0	185	3,5																																																																																																																										
3	2	1,5	180	4,0																																																																																																																										
4	2	0,5	190	3,0																																																																																																																										
5	2	0,5	190	3,0																																																																																																																										
6	2	1,0	185	3,5																																																																																																																										
7	2	1,5	180	3,0																																																																																																																										
8	2	1,5	180	4,0																																																																																																																										
9	2	1,0	185	3,5																																																																																																																										
10	2	1,5	190	4,0																																																																																																																										
11	2	0,5	190	4,0																																																																																																																										
Run	Bloco	x1	x2	x3	y																																																																																																																									
12	1	1,0	185	3,5	A medir																																																																																																																									
13	1	0,5	190	4,0																																																																																																																										
14	1	0,5	190	3,0																																																																																																																										
15	1	1,5	180	3,0																																																																																																																										
16	1	1,5	180	4,0																																																																																																																										
17	1	1,0	185	3,5																																																																																																																										
18	1	0,5	180	4,0																																																																																																																										
19	1	0,5	180	3,0																																																																																																																										
20	1	1,5	190	4,0																																																																																																																										
21	1	1,5	190	3,0																																																																																																																										
22	1	1,0	185	3,5																																																																																																																										
<b>Refleta sobre:</b>																																																																																																																														
Recursos necessários, custo do experimento:	Foi negociado com o process owner																																																																																																																													
Houve negociação com os envolvidos? (gerência, supervisão, operadores, laboratório)	Foi negociado com o process owner e Garantia da Qualidade																																																																																																																													
Há chance de produzir refugo?	Sim. Certos ensaios poderão gerar refugo																																																																																																																													
Quem vai acompanhar os ensaios?	O BB e o supervisor																																																																																																																													
Quem fará a separação do material dos ensaios?	O supervisor instruirá à operação para a separação do material																																																																																																																													
Chance de sucesso	80%																																																																																																																													

Figura 10 – Guia para o planejamento de ensaios com sucesso

## Conclusões:

O DOE é uma metodologia fascinante para adquirir conhecimento de um processo de forma econômica, eficiente e rápida. Para que a utilização do DOE seja um sucesso, o planejamento deve ser cuidadoso e levar em conta: a estabilidade do processo, a precisão dos sistemas de medição (%RR), a escolha adequada das variáveis controladas que serão incluídas no experimento, os ranges experimentais dos fatores, e vários outros antidotos que foram discutidos neste artigo.

O DOE é, a semelhança de outras ferramentas tais como CEP, uma metodologia que à primeira vista parece simples, depois se mostra complexa, mas após da aplicação criteriosa surge como uma técnica muito poderosa, sem a qual os Black Belts não podem conviver. Continuando com a música de Cole Porter, ... *a maçã na copa da árvore nunca está alta demais para alcançá-la. De tal forma que siga o exemplo de Eva... Experimente!*

Na Parte II deste artigo serão apresentados alguns exemplos de aplicação e recomendações sobre como analisar os dados no Minitab 14.13.

## Referências bibliográficas

- Domenech, Carlos (2004). Seleção do esquema de amostragem. Falando de Qualidade. Banas, Nº 146, p. 80-82.
- Halfhill, Tom R. (1995). INTEL. Revista Byte, abril, p. 32.
- Hellstrand, C. (1989). The necessity of modern quality improvement and some experience with its implementation in the manufacture of rolling bearings. Report n° 35, Center for Quality and Productivity Improvement. University of Wisconsin - Madison.
- Nachtsheim, Christopher (2003). A powerful analytical tool. Six Sigma Fórum Magazine. ASQ Six Sigma Forum - Volume 2, Number 4, August 2003.

**Carlos Domenech** é diretor da M. I. Domenech, empresa de métodos avançados e soluções Lean Seis Sigma. Mestre em estatística (IME/USP). Trabalhou durante 10 anos na Rhodia. Certificado pela Motorola (Texas) como instrutor de Black Belt. Especialização em DOE no Centro da Tecnologia da DuPont - Wilmington. Se tiver comentários sobre o artigo escreva a [mi.domenech@statistical.com.br](mailto:mi.domenech@statistical.com.br).