

Determinação de Valores Objetivos em Matrizes QFD usando Delineamento de Experimentos

Everton César Vasconcelos ecvasconcelos@yahoo.com

Anderson Paulo de Paiva andersonppaiva@bol.com.br

Pedro Paulo Balestrassi pedro@iem.efei.br

(UNIFEI/IEM/DPR)

Resumo

Este artigo propõe uma sistemática para a otimização dos valores objetivos de uma matriz QFD, baseado na metodologia de Delineamento de Experimentos. Para esta finalidade, utilizou-se uma aplicação acadêmica envolvendo a construção de um helicóptero de papel. O artigo também apresenta uma investigação sobre as potencialidades de utilização de métodos quantitativos associados a matrizes QFD.

Palavra-chave: Desdobramento da Função Qualidade (QFD), Delineamento de Experimentos (DOE), Otimização.

1. Introdução

A constante evolução dos sistemas de produção tem procurado atender, em grande parte, às necessidades dos clientes. Esta realidade desencadeia o aumento da competitividade entre os concorrentes, quando instiga o surgimento de respostas rápidas que acompanhem, quase em tempo real, características requeridas de processos e produtos em constante mutação. Deste modo, no processo de desenvolvimento de produtos, deve-se dar atenção a todos os fatores críticos que contribuam para que o atendimento das necessidades dos clientes, originando uma decisão que seja a mais coerente possível.

Segundo Oliveira *et al* (2000), é necessário identificar e priorizar as características da qualidade do produto que realmente reflitam as necessidades dos clientes para obtenção de sucesso no processo de desenvolvimento de novos produtos. As informações geradas pelos clientes, quando bem gerenciadas, retribuem os esforços despendidos na sua apropriação, trazendo como retorno um retrato realista das suas expectativas. Vale ressaltar que a busca de novas informações exige um considerável conhecimento técnico a respeito de produto que está sendo desenvolvido. Usado com esta finalidade, o método QFD se destaca como uma excelente alternativa para organizar e transmitir estas informações.

O objetivo deste artigo é demonstrar que o uso do Delineamento de Experimentos (DOE), pode aumentar a eficácia das atividades de planejamento da qualidade, ao estabelecer critérios menos arbitrários na construção de matrizes QFD. Outro objetivo é apresentar uma abordagem metodológica para a determinação das melhores características de projeto ou processo – que denominaremos Valores Objetivos - para a matriz QFD. Para a consecução desses objetivos será estudado um exemplo prático, clássico e didático, adaptado de Box *et al* (1991), relacionado com a construção de um helicóptero de papel. Tal exemplo tem sido muito referenciado no ensino de DOE e da metodologia Seis Sigma por sua simplicidade e riqueza de idéias (Breyfogle, 2000).

2. Integração QFD/DOE

Muitos trabalhos retratam a possibilidade de integração entre o QFD e outras técnicas. Lai-Kow; Ming-Lu (2002), afirmam que, recentemente, muitas metodologias estão sendo adaptadas e aplicadas ao QFD para torná-lo mais rigoroso e operacional. Os autores ainda afirmam que existem muitos trabalhos sendo desenvolvidos com o este escopo. Entre os vários métodos quantitativos usados no QFD para melhorar sua confiança e objetividade, notavelmente destacam-se: os da ciência da administração (benchmarking, grupo de decisão, técnicas de pesquisas de marketing), pesquisa operacional (programação linear, modelos de programação matemática), métodos de lógica difusa (AHP) e estatística (análise de regressão, método Taguchi, DOE). Outros autores como Breyfogle (2000), Ross (1998), Oliveira et al (2000), Ida et al (1999) apresentam propostas de integração do QFD com técnicas estatísticas.

Para Oliveira *et al* (2000), “o QFD é o melhor método para processar, transmitir e armazenar as informações sobre os diversos aspectos do produto, tornando-as visíveis para todos. Para tornar o processo de desenvolvimento de produto eficiente é fundamental que os dados que alimentam todo o processo de desenvolvimento sejam adequados e confiáveis. Muitas vezes a informação contida nos dados pode ser extraída com a sua disposição em forma de gráficos ou cálculo de medidas. No entanto, os dados muitas vezes exigem técnicas mais elaboradas para a extração das informações mais relevantes”. O que se observa é que a reconhecida eficiência visual do QFD começa a ser incrementada pela utilização integrada de outras técnicas. Este aperfeiçoamento provoca a sua otimização e a universalidade, elevando, com o tempo, a sua relevância em todos os campos da ciência.

3. QFD

Segundo Ida *et al* (1999), o Desdobramento da Função Qualidade é uma estrutura de trabalho que integra o planejamento, a organização e o controle da qualidade desde a fase de percepção até a fase de satisfação plena das necessidades dos clientes. Lai-Kow e Ming-Lu (2002) apresentam o QFD como um conceito global que provê meios de traduzir as exigências dos clientes nas exigências técnicas apropriadas para cada fase de desenvolvimento de produto, processo e/ou melhoria. Bouer (1998), define QFD como um procedimento que permite à organização perceber as necessidades dos clientes e estabelecer com que prioridades tais necessidades serão atendidas, detalhando para a organização qual será a contribuição de cada segmento, formalizando, para efeito de continuidade e segurança, a contribuição de cada um.

De acordo com Oliveira *et al* (2000) as principais etapas do QFD abrangem:

1. O planejamento do produto: onde são indicados as características principais do produto e os desdobramentos feitos para obtê-lo;
2. Desdobramento do produto em componentes críticos: onde são indicadas as características dos componentes críticos;
3. Planejamento dos processos: onde são relacionados os processos com as características principais do produto e de seus componentes.

No presente trabalho, será abordado somente o planejamento do produto, uma vez que se deseja apenas investigar a adequação do Delineamento de Experimentos (DOE) na construção de matrizes mais eficientes, substituindo características qualitativas, subjetivas, por resultados experimentais e estatísticos.

Para ilustrar a aplicação da metodologia DOE para a construção da matriz de QFD, será utilizado um exemplo de um produto fictício: um helicóptero de papel que pode ser confeccionado conforme a figura 1 e que apresenta um modelo para a confecção do produto desejado por um cliente também fictício, juntamente com suas características de projeto. Com

este exemplo, serão desenvolvidos os cálculos para os valores objetivos da matriz QFD conforme figura 2. Os Cálculos estão baseados em experimentações realizadas com o produto, obtidas a partir do lançamento dos helicópteros de uma certa altura, cronometrando-se o seu tempo de queda e medindo-se a distância a um alvo previamente estabelecido. O escopo do experimento consiste em otimizar duas respostas mediante a variação de um conjunto de sete fatores. Tais respostas devem: (i) maximizar o tempo de queda do helicóptero e (ii) minimizar a distância da queda do mesmo em relação a um alvo. O programa Minitab foi utilizado para efetuar automaticamente todos os cálculos relacionados com o DOE.

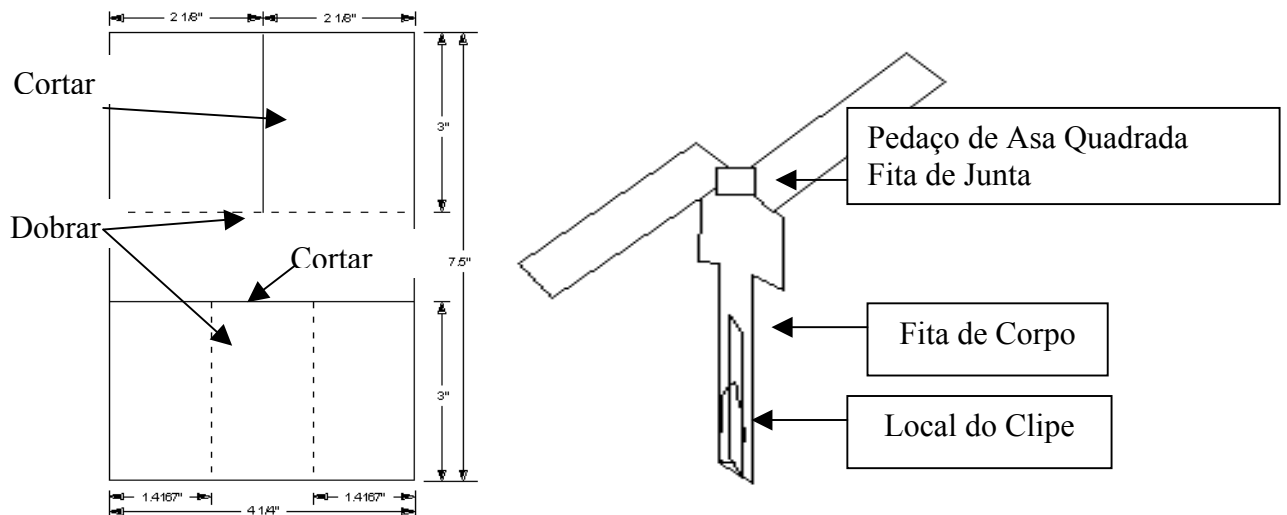


Figura 1 – Modelo para a confecção dos helicópteros (produto desejado para um cliente fictício)

Requisitos de Projeto	Importância	COMO																
		Tipo de Papel		Clip de Papel		Corpo Colado C/Fita		Junta da Asa Colada		Largura do Corpo		Comprimento do Corpo		Comprimento da Asa		TOTAL		
Requisitos do Cliente	X_i	C_i	$X_i \cdot C_i$	C_i	$X_i \cdot C_i$	C_i	$X_i \cdot C_i$	C_i	$X_i \cdot C_i$	C_i	$X_i \cdot C_i$	C_i	$X_i \cdot C_i$	C_i	$X_i \cdot C_i$	C_i	$X_i \cdot C_i$	-
O QUE	Tempo de Queda	8	1	8	3	24	1	8	3	24					3	24	88	
	Queda em Alvo	7			3	21	1	7	3	21	3	21	1	7	3	21	98	
	Manutenção	4			1	4			3	12	3	12	3	12	3	12	52	
	Custo	5	3	15	3	15	1	5	1	5	3	15	3	15	3	15	85	
	Estocagem	3									3	9	9	27	9	27	63	
	Manuseabilidade	2			1	2			3	6	3	6	9	18	6	12	44	
	Aspecto Visual	2	9	18	9	18	9	18	3	6							60	
Envergadura das Asas	1	1	1					9	9					9	9	19		
VALORES OBJETO		Amarelo Branco		Não Sim	Não Sim	Não Sim	1,42 2,00	3,00 4,75	3,00 4,75	509								
Importância Técnica Absoluta		42		84	38	83	63	79	120	509								
Importância Técnica Relativa		8%		17%	7%	16%	12%	16%	24%									

Figura 2 – Primeira Matriz QFD para o Helicóptero

A matriz QFD para o Helicóptero foi construída com base em uma pesquisa feita aos fictícios usuários do produto (alunos que participaram do experimento). Os requisitos dos clientes foram obtidos através de um consenso entre tais usuários e foram classificadas de acordo com uma escala de importância subjetiva, sobressaindo-se duas características de desempenho: 1) tempo de queda e 2) queda no alvo. Em seguida, procurou-se relacionar cada requisito do cliente com os requisitos de projeto através de uma escala de correlação entre os fatores. A primeira matriz do QFD foi utilizada para classificar os requisitos de projeto de acordo com

uma escala de prioridades. Após esta classificação, os requisitos de projeto priorizados na primeira matriz foram transpostos para as matrizes subseqüentes, as quais, devido ao escopo deste artigo, não serão apresentadas. A primeira matriz identificou os seguintes requisitos: Comprimento da asa, Presença de Clipe, Tipo de papel, Junta da Asa Colada, Comprimento do Corpo, Largura do Corpo e Fita para o Corpo, nesta ordem de importância, respectivamente, conforme figura 2.

4. DOE

O delineamento de experimentos (DOE – Design of Experiments) é um método de otimização estatística que busca encontrar, de maneira simultânea, os melhores níveis para um conjunto de fatores que exerçam influência sobre um certo processo. Vem sendo extensivamente usado em aplicações industriais, ajudando a determinar em que quantidade e condições devem ser coletados os dados para análise. Para isso, utiliza uma séria de experimentos seqüenciais cuidadosamente planejados, denominados Fatoriais (Box e Draper, 1987). Quando um planejamento fatorial utiliza todos os possíveis fatores, todas as combinações podem ser testadas e todas as interações, avaliadas. A esse tipo de procedimento dá-se o nome de planejamento fatorial completo. As mudanças deliberadas nos parâmetros pesquisados, são testadas estatisticamente, visando identificar aquelas que influenciam nos resultados. Deve-se ressaltar que, em planejamentos fatoriais, os parâmetros estudados podem ser tanto quantitativos quanto qualitativos.

Em um grande número de aplicações, os experimentos são conduzidos a partir das variações em dois níveis de cada fator de estudo. Tais níveis são expressos pelos coeficientes (+1) e (-1), denotando, respectivamente, o valor superior e inferior do fator. A tabela 1 descreve tal relação para o experimento em questão.

Fatores ou Requisitos de Projeto	Nível (-1)	Legenda	Nível (+1)	Legenda
Tipo de Papel	Branco	Br	Amarelo	Am
Clipes de Papel	Sim	S	Não	N
Corpo com Fita	Sim	S	Não	N
Junta da Asa Colada	Sim	S	Não	N
Largura do Corpo	1,42"	---	2,00"	---
Comprimento do Corpo	3,00"	---	4,75	---
Comprimento da Asa	3,00"	---	4,75"	---

Tabela 1- Níveis fatoriais experimentais do Helicóptero de Papel

O número de experimentos (N) necessário para se investigar os k fatores em dois níveis (+1 e -1) usando fatoriais completos, pode ser descrito pela equação 1:

$$N = 2^k \quad (1)$$

Logicamente, aumentando-se o número de fatores, aumenta-se em muito o número de experimentos, o que, em certos casos, torna um fatorial completo inviável. Além do mais, um bom planejamento fatorial inclui repetição, replicação e aleatorização. Isso pode ser facilmente implementado usando-se programas computacionais. Para solucionar o problema do grande número de experimentos, adota-se o *Planejamento fatorial fracionado*, através do qual todos os fatores são testados de modo balanceado. Entre os possíveis fatoriais fracionários, pode-se citar a “meia-fração”, determinada segundo a equação 2. Planejamentos deste tipo são muito úteis quando existem restrições orçamentárias ou temporais para a realização dos experimentos.

$$N = (1/2).2^K = 2^{-1}.2^k = 2^{(k-1)} \quad (2)$$

Uma das contribuições do DOE para a otimização da matriz de planejamento é quanto a uma determinação mais precisa de valores objetivos. Nisto reside a integração da prática experimental com o planejamento. No presente estudo, adotou-se um fatorial fracionário em dois níveis, de resolução IV e com replicação, para restringir o número de experimentações. Um fatorial completo utilizaria 128 experimentos, enquanto que o fracionário, apenas 32, sendo possível ainda, replicação e repetição. De acordo com a equação 2, tem-se que:

$$N = 2.(1/8.2^7) = 32 \quad (3)$$

onde 1/8 está relacionado com a fração do experimento; o valor 2 corresponde ao número de níveis do experimento e $k = 7$ representa o número fatores (requisitos de projeto da matriz QFD). Para a realização dos planejamentos, replicações e cálculos, foi usado o programa estatístico Minitab.

5. Cálculo dos valores objetivos utilizando o DOE

Run	Std			Junta	Junta	Comp	Comp	Larg		
Order	Order	Papel	Clipe	Asa	Corpo	corpo	asa	corpo	Tempo	Alvo
1	31	Br	N	N	N	3,00	4,75	1,42	4,87	32,00
2	8	Am	N	N	S	4,75	3,00	1,42	3,62	12,50
3	29	Br	S	N	N	4,75	3,00	1,42	3,78	17,00
4	10	Am	S	S	N	4,75	4,75	1,42	4,17	20,00
5	2	Am	S	S	S	4,75	3,00	2,00	3,01	22,00
6	5	Br	S	N	S	4,75	4,75	2,00	4,31	16,00
7	4	Am	N	S	S	3,00	4,75	2,00	3,91	28,00
8	22	Am	S	N	S	3,00	4,75	1,42	4,49	12,50
9	11	Br	N	S	N	4,75	3,00	2,00	3,96	14,50
10	6	Am	S	N	S	3,00	4,75	1,42	2,90	99,00
11	26	Am	S	S	N	4,75	4,75	1,42	4,37	14,00
12	17	Br	S	S	S	3,00	3,00	1,42	3,70	3,00
13	19	Br	N	S	S	4,75	4,75	1,42	5,28	20,00
14	25	Br	S	S	N	3,00	4,75	2,00	4,94	13,50
15	3	Br	N	S	S	4,75	4,75	1,42	4,99	21,00
16	13	Br	S	N	N	4,75	3,00	1,42	3,30	17,00
17	9	Br	S	S	N	3,00	4,75	2,00	4,38	6,00
18	15	Br	N	N	N	3,00	4,75	1,42	5,28	27,00
19	7	Br	N	N	S	3,00	3,00	2,00	3,97	14,50
20	1	Br	S	S	S	3,00	3,00	1,42	3,47	21,50
21	32	Am	N	N	N	4,75	4,75	2,00	4,32	80,00
22	16	Am	N	N	N	4,75	4,75	2,00	4,13	16,00
23	20	Am	N	S	S	3,00	4,75	2,00	3,84	44,50
24	18	Am	S	S	S	4,75	3,00	2,00	3,39	19,00
25	24	Am	N	N	S	4,75	3,00	1,42	3,82	36,00
26	21	Br	S	N	S	4,75	4,75	2,00	4,23	13,50
27	28	Am	N	S	N	3,00	3,00	1,42	3,91	24,50
28	27	Br	N	S	N	4,75	3,00	2,00	4,22	16,00
29	30	Am	S	N	N	3,00	3,00	2,00	3,47	20,50
30	23	Br	N	N	S	3,00	3,00	2,00	3,56	15,50
31	14	Am	S	N	N	3,00	3,00	2,00	3,94	13,00
32	12	Am	N	S	N	3,00	3,00	1,42	2,90	99,00

Tabela 2 – Matriz do DOE de resolução IV com $N = 2.(1/8.2^7) = 32$ experimentos.

Utilizando-se critérios já discutidos no item quatro, pode-se compor a matriz de planejamento de para os sete requisitos de projeto. A Tabela 2 mostra as possíveis combinações e seu reflexo sobre as dimensões preteridas pelos clientes. Neste caso, as duas variáveis que oferecem condições de serem experimentadas são o Tempo de Vôo e a Queda em Alvo. Todo o planejamento realizado através do Minitab para a construção do experimento fornece as configurações do produto para cada teste, possibilitando sua reprodução. O planejamento experimental realizado é apresentado na tabela 2. As colunas “Tempo” e “Alvo” representam os resultados do desempenho desses requisitos dos clientes priorizados. Para a realização do experimento, foram feitos lançamentos dos helicópteros com as configurações correspondentes a cada teste a partir de uma plataforma, com uma altura determinada,

cronometrando-se o seu tempo de queda e medindo-se a distância entre o ponto de queda e um alvo previamente estabelecido.

6. Análise dos resultados e modelo de otimização

Observando-se os resultados fornecidos pelo Minitab tabela 3, nota-se que para a resposta “Tempo de Vôo” três fatores são estatisticamente significativos: comprimento da asa, tipo de papel e presença de clipe. Para a resposta “Queda em Alvo” apenas o fator tipo de papel é significativo para obtenção de um modelo para o produto. O nível de significância empregado no teste é 5%. Todas as estatísticas de teste dos fatores principais e interações foram comparadas com este valor. Só foram considerados significativos, os P-Values menores que 0.05. É interessante observar que pelo QFD (usando uma interpretação qualitativa), os efeitos mais significativos para o tempo de vôo seriam o tipo de papel, clipe de papel, corpo com fita, junta da asa colada e comprimento da asa. Para a queda em um alvo obtém-se como efeitos mais significativos: cliques de papel, corpo com fita, junta da asa colada, comprimento da asa, largura do corpo e comprimento do corpo. De acordo com a figura 2, todos fatores estão devidamente correlacionados com os requisitos dos clientes. Pela análise estatística feita pelo DOE apenas o comprimento da asa, o tipo de papel e a presença de clipe são os efeitos significativos para o efeito Tempo de Vôo. O tipo de papel foi determinado como o mais significativo para a resposta “Queda em um alvo”, não tendo sido, entretanto, priorizado pelo QFD. Outra observação é que a matriz QFD não é capaz de determinar se existem e se são significativas as interações entre os fatores de projeto, o que por vezes são mais importantes que os fatores principais.

Fatores e Interação		P	C	JA	JC	CC	CA	LC	P* C	P* JA	P* JC	P* CC	P* CA	P* LC	C* JC	P*C *JC
P-Values	Tempo	0,00	0,05	0,85	0,15	0,55	0,00	0,58	0,16	0,23	0,66	0,50	0,08	0,69	0,34	0,41
	Alvo	0,05	0,22	0,69	0,82	0,39	0,48	0,38	0,63	0,89	0,97	0,38	0,79	0,85	0,16	0,24
LEGENDA DA TABELA 3																
Papel	P	Junta da Asa	JA	Junta do Corpo	JC	Comprimento Do Corpo	CC	Comprimento Da Asa	CA	Largura Do Corpo	LC					
Clipe	C															

Tabela 3 – Matriz dos Fatores e Interações com os seus determinados p-value para cada resposta

A tabela 3 apresenta os P-Values, calculado pelo software Minitab para cada fator e suas interações além de classificá-los de acordo com cada resposta.

Uma nova etapa usando DOE foi então desenvolvida buscando-se a otimização das duas respostas simultaneamente. Nesse caso, buscou-se obter as melhores características (valores objetivos) para que os helicópteros pudessem ter o maior tempo de vôo possível e a menor distância em relação ao alvo. Na fase seguinte, o DOE foi utilizado para identificar a combinação de ajustes de variáveis de entrada que, simultaneamente, otimizam as duas respostas.

Após a seleção das variáveis (requisitos dos clientes) a serem otimizadas – tempo e alvo, foi definido um objetivo para as mesmas: maximizar o tempo de vôo e minimizar a distância ao alvo. Para a situação de maximizar o tempo, é necessário fornecer o menor e o maior tempo de queda, além de um Valor alvo (Média do tempo de queda). Estes valores representariam os limites de especificação para o projeto. Já para a questão de minimizar o alvo, deve-se fornecer valores para a maior distância do alvo e o objetivo (Média da distância do alvo). A origem destes valores está na tabela 2. Conforme a resposta otimizada que foi gerada em função dos parâmetros determinados acima, chega-se aos níveis ótimos de cada fator que permitem a otimização do resultado desejado, tendo-se então um tempo de vôo otimizado de 4,04 segundos e uma distância do alvo de 11,63 centímetros, valores estes, calculados em

função da melhor combinação dos fatores influentes e seus respectivos níveis. Portanto, a melhor configuração para os fatores é a que se segue na tabela 4.

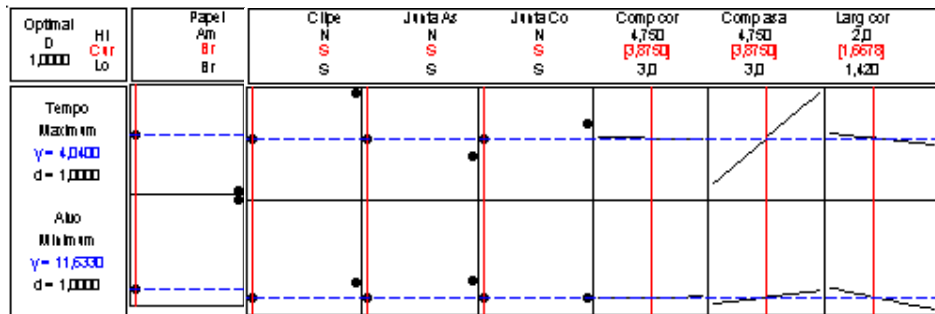


Figura 3 – Resposta Otimizada para os fatores

A figura 3 corresponde ao gráfico gerado pelo Minitab a partir dos objetivos maximizar tempo de queda e minimizar distância a um alvo conforme descrito anteriormente. O gráfico mostrado pela figura 3 apresenta um detalhamento de cada fator onde se observa o nível ótimo para cada um. Da figura 3 obtém-se a configuração de cada fator para a melhor resposta de desempenho do helicóptero, o que pode ser verificado na tabela 4 que traz a configuração otimizada do produto.

Fatores	Nível Ótimo
Tipo de Papel	Branco
Clipes de Papel	Sim
Corpo com Fita	Sim
Junta da Asa Colada	Sim
Largura do Corpo	3,875"
Comprimento do Corpo	3,875"
Comprimento da Asa	3,00"

Tabela 4 – Níveis otimizados dos fatores que otimizam simultaneamente duas respostas

Através desta análise pode-se efetuar correções na matriz QFD antes de se dar continuidade ao método QFD, estabelecendo-se critérios menos arbitrários e mais estatísticos para as matrizes. Isso torna o método mais rigoroso e operacional.

7. Conclusão

O QFD é uma ferramenta visual muito eficiente mas tem, intrinsecamente, algumas deficiências relativas a definição dos valores objetivos de suas matrizes. Inúmeras possibilidades são vislumbradas pelos pesquisadores no sentido de potencializar as qualidades deste método de planejamento da qualidade, que procura traduzir a expectativa do cliente a respeito do produto em informações a serem quantificadas e controladas durante a fase de projeto dos novos produtos, sincronizando atributos técnicos do projeto com dimensões da qualidade. O QFD é uma ferramenta que comporta muito bem uma integração com o DOE.

Este trabalho procurou demonstrar essa integração utilizando um exemplo acadêmico clássico que pode ser facilmente assimilado e reproduzido. Os resultados mostraram que as definições subjetivas da Matriz QFD foram antagônicas aos resultados estatísticos obtidos usando o Planejamento e Otimização de Experimentos. Generalizando-se tais procedimentos torna-se

possível eliminar interpretações subjetivas a respeito dos requisitos dos clientes, ao desenvolver novos produtos. A abordagem metodológica apresentada propõe uma nova perspectiva para a análise de novos produtos, utilizando-se a experimentação e os requisitos dos clientes como principais ferramentas. Deste modo, o QFD consegue direcionar os esforços para a melhoria da qualidade de projeto de produtos, processos e serviços, obtendo-se resultados mais precisos, atendendo às necessidades dos clientes.

Referências

- BOUER; *Desdobramento da Função Qualidade – Conceitos e Aplicações*; TQS Engenharia, 1998.
- BOX; BISGAARD; FUNG; *Designing Industrial Experiments: The Engineer's Key to Quality*; New York, John Wiley & Sons, 1991.
- BOX G. E. P., DRAPER, N. R.; *Statistical Method for Process Improvement*; New York, John Wiley & Sons, 1987.
- BREYFOGLE III, F. W.; *Implementing Six Sigma – Smarter Solutions Using Statistical Methods to Design – A QFD Evaluation with DOE*; pp. 632-638; Austin, Texas. John Wiley & Sons; 2000.
- IDA, et al; *QFD Application to Find Optimum Methods and Tools in Job-site Practice*; The 5th International Symposium on Quality Function Deployment, Belo Horizonte, MG, Brazil August 24 and 25, 1999.
- LAI-KOW Chan; MING-LU Wu; *Quality Function Deployment: A Literature Review*; European Journal of Operational Research 143 (2002) 463–497
- MINITAB, *Minitab Statistical Software Manual*, Release 13, 2001.
- OLIVEIRA, L. C.; DRUMOND, F. B.; *Uso Integrado do Método QFD e de Técnicas Estatísticas de Planejamento e Análise de Experimentos na Etapa do Projeto do Produto e do Processo*, II CBGDP, São Carlos, SP -30-31 Agosto 2000
- ROSS, P.J.; *The Role of Taguchi Methods and Design of Experiments in QFD*; Quality Progress 21 (6), 41–47; 1988.
- SUICH, R.; DERRINGER, G.; *Simultaneous Optimization of Several Response Variables*; California, Journal of Quality Technology, pp. 214-219, 1980.
- YE; HAMADA; WU; *A Step-Down Lenth Method for Analyzing Unreplicated Factorial Designs*; Journal of Quality technology, Vol. 33, № 2, April 2001.