

APLICAÇÃO DO MÉTODO QFD PARA SELEÇÃO DE MATERIAIS DO TREM DE POUSO EM AERONAVE RADIOCONTROLADA

REBECA GABRIELLE LEITE CORRÊA^{1*}, MARCOS DANTAS DOS SANTOS², ANTONIO CLAUDIO
KIELING³, VICTOR HUGO VALENTE FERREIRA COSTA⁴

¹Aluna Pesquisadora Bolsista FAPEAM, UEA, Manaus-AM. Fone: (92)98838-5281, leitecrg@gmail.com

²MSc. Professor em Engenharia Mecânica, UEA, Manaus-AM. Fone: (92)98147-8343,
marcosdantas73@hotmail.com

³Dr. Professor em Engenharia Mecânica, UEA, Manaus-AM. Fone: (92)98152-2113,
antoniokielsing@yahoo.com

⁴Aluno de Engenharia Mecânica, UEA, Manaus - AM. Fone: (92)99154-7810, victorhugovalentefc@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: No ambiente competitivo do Aerodesign promovido pela SAE Brasil é necessário que cada projeto obtenha diversos estudos para construir um avião de excelente desempenho que atenda os requisitos de cada edital. Entre vários fatores avaliados, a seleção de correta de materiais tornou-se imprescindível no projeto de uma aeronave. Este trabalho também por objetivo propor a seleção de materiais para cada componente do avião utilizando o método de QFD. Para estudo e análise do método proposto utilizou-se o componente trem de pouso projetado para uma aeronave cargueira e radio controlada elaborada pela equipe Urutau Aerodesign, considerando também os materiais já utilizados por métodos comparativos.

PALAVRAS-CHAVE: Seleção de materiais, QFD, Aerodesign.

APPLICATION OF METHOD QFD FOR SELECTION OF MATERIALS OF LADING GEAR IN CONTROLLED RADIO AIRCRAFT

ABSTRACT: In competitive environment Aerodesign's advance in the SAE Brazil is necessary that each Project obtain studies for to build an airplane of stand out acquittal, that could answer the requirement of each edictal. Among several evaluated factors, the selection of correct of materials has become indispensable in project of a aircraft. This academic project also for objective to offer the selection of materials for each component of airplane to utilize of QFD. For study and analysis of proposed method use the component landing trains projected for a freighter aircraft and radio controlled elaborate by the team Urutau Aerodesign, seeing also the materials already used by comparative methods.

KEYWORDS: Selection of materials, QFD, Aerodesign

INTRODUÇÃO

A seleção de materiais tornou-se uma prática indispensável por engenheiros e projetistas no qual sempre tiveram como missão escolher os materiais mais apropriados para uma determinada aplicação, considerando suas características, propriedades, disponibilidade e custo.

Segundo Ljungberg e Edwards (2003) para selecionar o material mais conveniente é necessário que um conjunto de fatores e requisitos seja atendido. (Nunes, 2012) diz que entre esses fatores, pode-se considerar: resistência mecânica, resistência à deterioração, custo, facilidade de fabricação e utilização, relação entre resistência mecânica e massa específica, facilidade para reciclagem. Dehnam-Manshade et al (2007) ponderam que com a evolução de estudos referentes à seleção de materiais, inúmeras técnicas de otimização são utilizadas para melhor eleger o material mais eminente.

A construção de aeronaves radiocontroladas para competição SAE Brasil Aerodesign exige características mais específicas, visto que os componentes necessários para compor o avião são manufacturados provenientes de materiais nobres com propriedades que podem determinar um grande desempenho. Para obtenção de bons resultados, muitas exigências devem ser obedecidas, desde atender o que é pedido nos editais, até inovações e seleções corretas de materiais. Os materiais mais utilizados são leves e resistentes, como fibras, madeiras, compósitos, entre outros. Para obter um bom desenvolvimento de projeto.

Neste contexto, este trabalho tem por objetivo a proposição do método QFD para seleccionar materiais adequados e preceituados às exigentes requeridas no projeto de trem de pouso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) cargueiro e radiocontrolado.

REFERENCIAL TEÓRICO

QFD é a abreviatura do termo em inglês, *Quality Function Deployment*, que significa desdobramento da função qualidade. O QFD é uma técnica que possibilita qualificar e quantificar os requisitos técnicos e os requisitos do cliente. Conhecido também como “Casa da Qualidade”, o processo do QFD faz uma interação entre a necessidade cliente e a possibilidade de executar o projeto no tempo esperado e com menor custo. Segundo Cheng e Melo Filho (2007), o método de implementação do QFD pode ser realizada em quatro unidades operacionais distintas: Tabela, Matriz, Modelo Conceitual e Padrões.

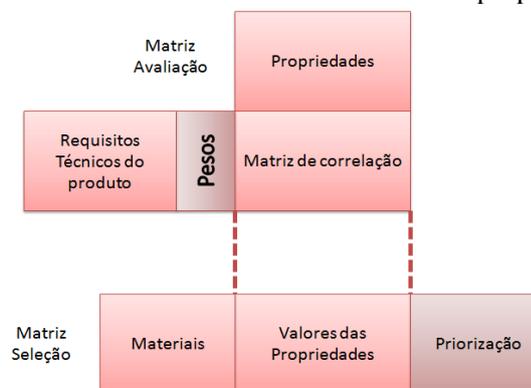
Frequentemente, o procedimento de avaliação pode ser dividido em duas matrizes: (1) Matriz de Avaliação e (2) Matriz de Seleção. Scalice et. al. (2011) diz que a primeira matriz a ser construída para análise do QFD é responsável por descrever a necessidade do consumidor e converter em requisitos técnicos no qual o produto poderá ser embasado. Esta ação, que se constitui na casa da qualidade, está descrita na figura 1.

Figura 1. Casa da qualidade



Ao traduzir a necessidade do cliente em requisitos técnicos, muitas correlações são realizadas até que se finalize na matriz de seleção. A matriz de seleção finaliza o processo de seleção, levando em consideração o peso, o direcionador e os requisitos técnicos priorizados. Esta está descrita na figura 2.

Figura 2. Modelo conceitual do Seletor de Materiais proposto



METODOLOGIA

A proposta primordial das matrizes de seleção baseadas no método QFD contemplam infinitas aplicações onde se necessita selecionar um determinado material que atenda as especificações que o produto requer.

Scalice et al (2011) sugere que para análise inicial da Matriz de Avaliação é necessário ponderar os requisitos técnicos que o produto exige. Os pesos variam numa de escala de 0 a 5, onde:

- 5 – O requisito é indispensável para o projeto;
- 4 – O requisito é essencial para o projeto;
- 3 – O requisito é considerável para o projeto;
- 2 – O requisito tem importância fraca para o projeto;
- 1 – O requisito é pouco relevante para o projeto;
- 0 – O requisito não importa para o projeto.

Após a definição dos pesos para cada requisito técnico, utiliza-se um direcionador de melhoria (correlação + ou -) no qual pode maximizar (maior melhor) ou minimizar (menor melhor) a análise as exigências do produto. A Tabela 1 apresenta os requisitos técnicos considerados no projeto de trem de pouso.

Tabela 1. Requisitos técnicos e seus respectivos pesos e direcionadores de melhoria

	Peso (0 a 5)	Correlação (+ ou -)
Prover estabilidade dimensional	2	1
Deve suportar vibrações	2	1
Prover rigidez	4	1
Suportar as cargas submetidas	5	1
Deve resistir a riscos	1	1
Deve ter resistência aos detergentes/solventes	1	-1
Peso	5	-1
Prover Flexibilidade	1	0
Garantir a manutenção das propriedades	3	1
Deve ter atrito	1	1
Suportar desgaste	2	1
Permitir condução elétrica	1	-1
Deve suportar choques mecânicos	5	1
Deve Suportar montagem	3	1
Deve possuir resistência a corrosão	1	1
Deve suportar temperaturas	1	1
Permitir Aderência	1	0
Permitir Condução de calor	1	-1

Com os pesos e direcionadores definidos, calculam-se as propriedades de materiais mais relevantes a ser analisada na seleção do material, em base a equação (1). O resultado com valor positivo indica que a propriedade deve ser maximizada, e o resultado com valor negativo indica que a propriedade deve ser minimizada.

$$P_i = \sum_{j=1}^n W_j \times R_{ij} \times C_{ij} \quad (1)$$

Onde:

- P_i = Importância relativa de cada propriedade;
- R_{ij} = Requisito técnico de cada propriedade;

Definindo-se a importância relativa das propriedades, inicia-se a Matriz Seleção, no qual será correlacionado o valor dessas propriedades com os materiais propostos para o projeto. Para permitir

que essa correlação aconteça, uma sistema de normalização linear é implementado para cada propriedade indicada na matriz de seleção, conforme equações 2 e 3.

Se a propriedade relativa for maior ou igual zero, então:

$$\frac{P_{ij}}{P_{maxj}} - \frac{P_{minj}}{P_{maxj}} \quad (2)$$

Se a propriedade relativa for maior que zero, então:

$$\frac{P_{ij}}{P_{maxj}} - \frac{P_{minj}}{P_{maxj}} \quad (3)$$

Os valores normalizados variam entre 0 e 1. A pontuação final do material é calculada utilizando a soma dos valores normalizados multiplicados pelo valor relevante das propriedades, de acordo com a equação 4.

$$P_{ij} \times \alpha_j = I_{ij} \times P_{ij} \quad (4)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obtenção do material selecionado pelo método QFD no projeto de trem de pouso, inicialmente constrói-se a Matriz de Avaliação (figura 3), no qual são correlacionados os requisitos técnicos e as exigências do cliente. A correlação para cada propriedade é realizada conforme a equação (1). Após a aquisição dos valores de importância relativa de cada propriedade, inicia-se a construção da Matriz de Seleção (figura 4). Na Matriz de Seleção são avaliadas as propriedades mecânicas de cada material proposto com seu respectivo valor normalizado, conforme as equações (2) e (3), gerando uma pontuação para material como propõe a equação (4).

(Nunes, 2012) afirma que além da seleção por meios de avaliações das propriedades, requisitos técnicos e exigências do produto, é necessário avaliar-se os custos da fabricação do produto. O autor propõe uma tabela no qual analisa o custo de outras ligas em relação ao aço carbono, equivalente a 1,0 na tabela de comparação.

Considerando o ranking gerado na Matriz de Seleção (Figura 5) e os custos relativos de cada material, conforme mostra a tabela 2, pode-se concluir que os materiais de acordo com os requisitos técnicos propostos pelo projeto e com custo viável são a liga e aço 4043 e o cobre Berílio, esses materiais são frequentemente no aerodesign (Miranda, 2010).

Figura 3. Matriz de Avaliação

	Peso (0 a 5)	Correlação (+ ou -)	Resistência a tração	Resistência a compressão	Resistência a flexão	Densidade	Módulo de elasticidade	Tensão de escoamento	Resistência ao impacto	Coefficiente de dilatação térmica	Resistência a abrasão	Resistência a fadiga	Dureza	Potencial eletroquímico	Módulo de Resiliência
Prover estabilidade dimensional	2	1	9	3	3	3	9	9		9	3	1			3
Deve suportar vibrações	2	1	1	1	1	9	1					3	1		3
Prover rigidez	4	1	9	3	3	9	9	3				1	3		9
Suportar as cargas submetidas	5	1	9	3	3	9	9	9	9	1		3	1		9
Deve resistir a riscos	1	1	1	1	1	1	3				3		9		
Peso	5	-1				9									
Prover Flexibilidade	1	0	1	1	1	1	9	3	1				3		3
Garantir a manutenção das propriedades	3	1	3	3	3	3	9	9	3			9	3	1	9
Deve ter atrito	1	1				1	1	1			3		3		
Suportar desgaste	2	1				1				9			3	1	
Deve suportar choques mecânicos	5	1				9		1	9				3		9
Deve Suportar montagem	3	1	9	3	3	9	9	3	3	3					9
Deve possuir resistência a corrosão	1	1												9	
Deve suportar temperaturas	1	1				3				3					3
Permitir Condução de calor	1	-1				3				3					
Correlação			132	54	54	136	159	117	108	32	30	54	49	14	195
RANKING			5	8	8	4	3	6	7	12	13	8	11	14	1

Figura 4. Matriz de Seleção

	Densidade	Resistência à tração (MPa)	Tensão de Escoramento (MPa)	Módulo de Cisalhamento (GPa)	Resistência ao Impacto (Mpa.m ^{1/2})	Módulo de Elasticidade (GPa)	Módulo de Resiliência	SCORE	RANKING	
MATERIAIS	Liga Alumínio 7075-T6	2,81	560,00	500,00	26,90	25,00	71,70	1,76	246,87	6
	Liga Alumínio 6063-T6	2,70	370,00	315,00	25,80	7,57	69,90	0,70	108,23	8
	Liga Alumínio 6351-T6	2,70	300,00	255,00	26,90	-	72,00	0,62	74,28	9
	Aço A656 - Grade 1	7,85	655,00	552,00	80,00	-	200,00	1,06	570,22	5
	Aço 4340	7,85	980,00	895,00	80,00	-	205,00	2,34	711,39	2
	Aço 4063	7,75	786,00	710,00	81,50	-	205,00	1,22	622,44	4
	Liga Alumínio 2024	2,78	470,00	325,00	28,00	32,00	73,10	0,72	195,79	7
	Cobre Berílio	8,25	1140,00	690,00	50,00	4,90	128,00	5,08	660,21	3
	Liga Magnésio ZK60A	1,83	350,00	285,00	17,00	-	44,80	0,90	20,89	10
	Ti-10V-2Fe-3Al	4,65	1223,00	1150,00	42,10	44,00	107,00	6,18	746,63	1
	136,00	132	117	188	108	159	195			

Tabela 2. Valores relativos dos materiais em relação ao aço carbono, que equivale a 1,0.

Material	Custo Relativo ao Aço Carbono
Aço Liga	De 2,5 a 7,0 a depender do tipo e do teor dos elementos de liga
Ligas de Alumínio	De 7,0 a 16,0
Titânio	De 60,0 a 130,0
Liga de Magnésio	De 12,0 a 15,0
Cobre Berílio	De 6,0 a 8,0

CONCLUSÃO

A utilização do método de Desdobramento de Função Qualidade para selecionar materiais é uma técnica importante a ser considerada no desenvolvimento de produtos. O QFD utiliza principalmente as propriedades dos materiais para realizar suas avaliações e assim definir quais materiais atendem de forma satisfatória os requisitos exigidos no produto. Ao considerarem-se os resultados obtidos nas análises por QFD e o custo de cada material proposto, é possível escolher o material mais adequado que está em conformidade ao contexto proposto na definição da seleção de materiais no projeto de trem de pouso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) cargueiro e radiocontrolado.

A liga de titânio é o material mais indicado para fabricação de trem de pouso de acordo com o método QFD. Nos aviões comerciais utiliza-se ligas de titânio e ligas de aço pra fabricação do trem de pouso, pois possuem resistências e baixo peso (Caram, 2010), logo este resultado converge com os materiais indicados por importantes fabricantes nacionais de trem de pouso de aeronaves comerciais, pois o titânio é o carro-chefe da indústria deste segmento e ainda responde por quase 60% do volume de produção, porém se observarmos a tabela 2 além de seu alto custo, surgem novos desafios de usinagem e exigência por ferramentas otimizadas, assim torna-se inviável para utilizar-se em um projeto de uma aeronave rádio controlada.

Os materiais (cobre berílio e a liga de aço 4043) foram selecionados após estudos considerando suas propriedades mecânicas, através o método QFD, bem como a viabilidade econômica e disponibilidade de aquisição de ambos.

REFERÊNCIAS

- ASM Aerospace Specification Metals Inc. Disponível em: <<http://asm.matweb.com>>. Acesso em: 29 de junho de 2016.
- CARAM, R. Recentes Avanços em Ligas de Ti Tipo α : Transformações de Fase e Aplicações. Campos do Jordão: 19º CBECIMAT, 2010.
- CHENG, L. C.; MELO FILHO, L. D. R. QFD: Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Desenvolvimento de Produtos. São Paulo: Editora Blucher, 2007.
- DEHGNAN-MANSHADI, B; MAHMUDI, H; ABEDIAN, A; MAHMUDI, R. A novel method for materials selection in mechanical desing: Combination of non-linear normalization and modified digital logic method. Materials and Design, 28, p. 8-15, 2007.
- LJUNGBERG, LY; EDWARDS, KL. Design, materials selection and marketing of successful products. Materials and Design, 24, p. 519-529, 2003.
- MIRANDA, L. E. Fundamentos da Engenharia – Aplicações ao projeto SAE-Aerodesign. São Paulo: Edição do Autor, 2010.
- NUNES, L.P. Aplicações de Engenharia, seleção e integridade. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 406p.
- SCALICE, R. K; BRASCHER, G. C; BECKER, D. Metodologia para seleção de materiais baseada no QFD. Management and Development, v. 22, p24-18. <http://dx.doi.org/10.4322/pmd.2012.011>