

Aplicação de QFD e AV/VE ao projeto de um coletor solar

Nasario de S. Filipe Duarte Junior (São Paulo – SP)

Resumo

Este artigo pretende explorar o relacionamento entre as ferramentas Desdobramento da Função Qualidade (QFD) e Análise de Valor/Engenharia de Valor (AV/VE), aplicado ao projeto de um equipamento de aquecimento de água residencial (coletor plano).

Palavras-chave: QFD; Análise de Valor/Engenharia de Valor; aquecedores solares

1. Introdução

O projeto de um produto ou processo, para ser mais eficaz e eficiente, depende do uso de ferramentas de análise. Informações sobre o uso de cada ferramenta, isoladamente, podem ser facilmente obtidas, no entanto, a interação entre estas é assunto pouco explorado.

Entre as ferramentas analíticas mais utilizadas estão o QFD (Desdobramento da Função Qualidade) e AV/EV (Análise de Valor/Engenharia de Valor), sendo a primeira indicada para definição de características de produto e a segunda indicada para redução de custos de produto. O QFD foi criado no Japão e difundido a partir de 1972 por Akao (AKAO,1990; CHENG,1995), como uma técnica de desenvolvimento de produtos e processos cujo objetivo é garantir que os requisitos do cliente sejam incorporados no projeto. É uma metodologia que envolve trabalho em equipe e utiliza diagramas para reunir grande quantidade de informações complexas de maneira concisa. A Análise de Valor - AV (ou Engenharia de Valor - EV), segundo diversos autores consultados (MILES,1972; MARAMALDO,1993; WILSON,1967; CSSILAG,1985) é conceituada como uma técnica desenvolvida a partir da II Guerra Mundial e difundida por Miles, que também envolve trabalho em equipe, criatividade e *trade-offs* e difere da simples redução de custos por envolver uma sistemática organizada de análise e proposição de soluções, baseada na função que um produto ou componente deve ou poderia desempenhar, e dos custos para obtenção desta e do valor que o cliente está disposto a desembolsar para ter esta função desempenhada.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta de modelo para interação entre estas duas técnicas, aplicando-as conjuntamente ao caso do desenvolvimento de um aquecedor solar de água residencial, buscando torná-lo mais barato, sem contudo afetar sua eficácia e atratividade comercial.

2. Métodos e técnicas de pesquisa

O método utilizado na pesquisa consistiu em:

- pesquisa bibliográfica em livros técnicos, teses publicadas e sítios na internet das empresas fabricantes destes equipamentos, além de análise “in loco” de modelos à venda, para entender o funcionamento do produto e relacionar as características de cada modelo;
- pesquisa bibliográfica para entendimento da interface entre as ferramentas QFD (Desdobramento da Função Qualidade) e AV/EV (análise de Valor/Engenharia de Valor);

- uso conjunto das ferramentas QFD e AV/EV para seleção do melhor conjunto de características para o produto, tendo como base o custo e mantendo a funcionalidade e características que tornem o produto desejável pelos consumidores.

3. Revisão bibliográfica

3.1 QFD e AV/EV

Existem alguns modelos de QFD, como o de Akao, o de King e o ASI (GUINTA,1993; CARVALHO,1997). Destes, o mais simples é o ASI, que envolve 4 diagramas: Planejamento do Produto/Serviço ou Casa da Qualidade, Desdobramento dos componentes e materiais, Planejamento do Processo e Planejamento da Produção. Através da progressão de fases, os requisitos dos clientes (Voz do cliente) são sucessivamente desdobrados por cada diagrama em: Características mensuráveis de projeto, Características dos componentes/materiais, Parâmetros de processo e Planejamento da Produção. Cada diagrama por sua vez é composto de tabelas, vetores e matrizes. As tabelas, conforme Cheng (2003) são diagramas hierárquicos que desdobram categorias de informações em seus constituintes. Vetores são dados associados às tabelas e as matrizes representam os relacionamentos entre as tabelas. As matrizes indicam as correlações existentes entre as categorias. Os relacionamentos e as correlações exigem análise detalhada, em especial aquelas que indicam conflitos (incompatibilidade entre requisitos ou entre requisitos e custos), e podem requerer *trade-offs* entre os valores das características.

A AV/EV, conforme os autores consultados (MILES,1972; MARAMALDO,1993; WILSON,1967; CSSILAG,1985), tem como ponto de partida a descrição da função, a qual deve ser sucinta e normalmente composta por verbo+substantivo, se necessário complementados por adjetivos, advérbios ou quantidades. Um mesmo produto/componente pode ter mais de uma função, e as funções devem ser desdobradas em funções secundárias, terciárias e assim por diante, para serem tratadas pela AV/EV. As ferramentas utilizadas pela AV/EV são o **Diagrama FAST** (*Functional Analysis of Systems Technique*) para desdobrar as funções, o **Diagrama de Mudge** para ordenar as funções em ordem de prioridade relativa, a **Análise Morfológica** para relacionar soluções alternativas para cada função e elencar a melhor combinação e a **Matriz de Custos das Funções** para relacionar as funções estudadas, as características dos produtos e os custos associados, possibilitando avaliar a distribuição dos custos pelas funções sob o ponto de vista do valor dado pelo cliente. Na elaboração das soluções, que devem ser verificadas técnica e economicamente, devem ser avaliadas quaisquer alterações ou eliminação de funções, componentes, materiais, processos, dimensões que reduzam custos sem prejudicar as funções valorizadas.

A AV/EV é um método facilmente adaptável. Fang e Rogerson (1999) utilizaram uma versão alterada de VE para estabelecer métricas para gestão de desenvolvimento de processos, usando “criticidade” no lugar de “valor” e validaram o método comparando com o QFD. Também o QFD é normalmente associado com outras ferramentas de projeto como FMEA e DOE (AKAO, 1990 e CHENG, 1992), AHP (CARVALHO,1997) e VA (SILVA,2004) para definição das melhores alternativas de projeto. Francheschini e Rosseto (1999) indicam complementaridade entre estas QFD e AV/EV por consideraram o QFD muito adequado para análise das necessidades do mercado e definição de características preliminares de produto, e em parte adequada para detalhamento das funções e características do produto, mas consideraram a técnica FAST como muito adequada para detalhamento das funções e características do produto e a VA como muito adequada a avaliação de alternativas de projeto e otimização de parâmetros.

Cauchick (2003) revela que no Brasil em torno de 30% das empresas utilizam o modelo Akao de QFD, mas dados indicam que somente o primeiro diagrama é utilizado. Também indica que VA é utilizado junto com QFD por cerca de apenas 20% das empresas que utilizam o QFD. Diferente do esperado, Akao e Cheng fazem ressalvas à utilização da AV/EV junto com QFD por considerarem que a AV/VE não prioriza a Voz do Cliente e que a definição das funções na forma verbo+substantivo é restritiva e recomendam a AV/EV apenas para tratamento de conflitos entre requisitos e custos evidenciados pelo cruzamento das funções originadas do Desdobramento da Tecnologia e das características da qualidade originadas do Desdobramento da Qualidade. Por fim, Silva (2004) sugere um método que utiliza conjuntamente as ferramentas QFD e VA, no qual a Voz do cliente é desdobrada em funções usando o diagrama FAST, que são ordenadas usando um Diagrama Mudge, e tornam-se os requisitos de entrada do Diagrama QFD, com um vetor de custos associado. Silva menciona como vantagem deste método o fato do diagrama FAST gerar funções implícitas que são raramente citadas pelos consumidores, mas por serem essenciais seus custos que tem que ser levados em conta no QFD.

3.2 O coletor solar

Alvin Tofler (1980) previu para o século XXI a necessidade de um modelo difuso de geração e consumo de energia em pequena escala, tanto para minimizar o impacto ambiental, quanto para melhor se adequar às novas formas de trabalho e tecnologias da Era Pós-Industrial. A energia solar cumpre estes requisitos, e é reconhecida como uma fonte limpa, inesgotável, abundante e gratuita, com usos correntes para fins domésticos e industriais.

Para o Brasil, onde os índices de radiação solar incidente são altos, sobretudo no inverno devido à menor nebulosidade, justamente quando a demanda por aquecimento é maior, parece ser a solução ideal. No entanto, segundo o Green Solar (PUC-MG), mesmo já existindo patentes destes produtos no exterior há pelo menos 100 anos, os primeiros aquecedores solares de água residencial só surgiram no Brasil nos anos 70, fruto da crise do petróleo, e os modelos comerciais surgiram a partir de 1988 com a publicação das primeiras normas brasileiras e dos primeiros ensaios para certificação destes produtos (INMETRO - selo PROCEL). Em 2001, com o racionamento de energia, o governo concedeu isenção de ICMS para os fabricantes e abriu linhas de financiamento (CEF) aos consumidores para aquisição de equipamentos certificados. Segundo a ABRAVA, a energia solar beneficia hoje mais de 500 mil residências, ou dois milhões de habitantes. Todas as fontes consultadas indicam ser o investimento inicial a maior barreira à difusão do aproveitamento da energia solar no aquecimento residencial de água. Outro fator importante é a restrição havida no passado quanto a residências já construídas sem instalação para água quente. Os sistemas que concorrem com o aquecimento solar para geração de água quente são o aquecimento elétrico central e o aquecimento a gás por passagem, mas a forma absolutamente predominante no Brasil é o chuveiro elétrico, sendo um dos poucos países que ainda o utilizam. Mesmo com os custos de energia elétrica e gás aumentando ano a ano, a favor do chuveiro elétrico ainda existem os fatos de ser ele barato, de simples instalação, não necessitar acumulação de água quente e já fazer parte da cultura brasileira. Para a ABRAVA, a intensificação do uso da energia solar exige barateamento, divulgação e apoio do governo.

O princípio de funcionamento do coletor solar, segundo Goldenberg (1979), é o do efeito estufa. Este efeito baseia-se no fato de que certos materiais são seletivos à radiação, sendo transparentes à luz solar e ao mesmo tempo opacos à luz infravermelha, além de bons isolantes térmicos. Outro problema relacionado, segundo Goldenberg, é o da acumulação da energia, para uso quando não há disponibilidade suficiente de energia solar (alternância de dias e noites, estações do ano, dias

nublados e ensolarados). O método atualmente utilizado é o de acúmulo da energia térmica na forma de calor sensível (aquecimento de uma massa como a água) pois a água, além de armazenar muito calor sensível, também é um mau condutor de calor, e perde lentamente calor para o ambiente. As pesquisas nesta área tem tornado os aquecedores solares mais leves, baratos e eficientes e o *marketing* das empresas tem se preocupado com o acabamento e cores diferentes para combinar com os vários tipos de telhado.

O sistema convencional de aquecimento solar de água residencial é composto basicamente de coletores solares (posicionado ao sol), reservatório para a água aquecida (*boiler*) e tubulações (ver figura 1) e permitem aquecer água de 40°C a 90°C, dependendo das condições de insolação.

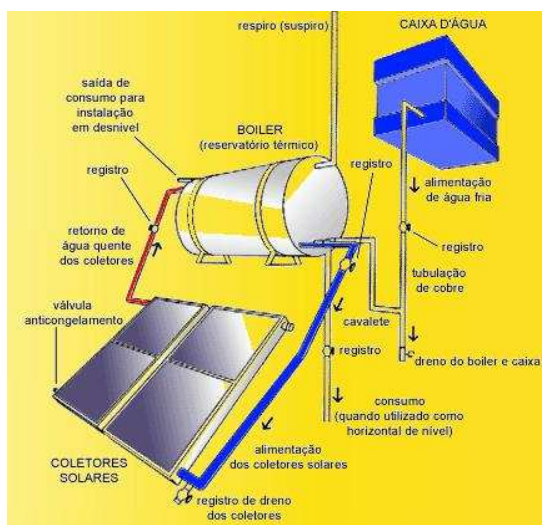


Figura 1 – Configuração típica do sistema

Os coletores solares são responsáveis pela absorção da energia dos raios solares que atravessam a placa transparente e incidem sobre uma superfície metálica (normalmente cobre ou alumínio, por serem excelentes condutores térmicos) enegrecida (para maior absorção da radiação), na qual tubos são unidos, e dentro dos quais circula a água que se deseja aquecer. As tintas usadas para enegrecimento são esmaltes ou revestimentos seletivos (por exemplo cromo negro eletrólito ou óxido de cobre obtido quimicamente) que aumentam a eficiência do coletor.

A superfície metálica é isolada termicamente da chapa de fundo e por causa do efeito estufa a superfície metálica se aquece e transmite calor à água que circula pelos tubos. Os coletores comerciais pesam entre 30 e 60kg, tem área de 1 a 2 m², eficiência energética de 50 a 60% e produzem de 70 a 120 kWh/mês, ou 50 litros de água quente por m² de coletor.

A água aquecida é transportada para o *boiler*, onde fica armazenada até o seu consumo, e o *boiler* é realimentado com água fria proveniente da rede ou de caixa d'água, que deve estar posicionada ligeiramente acima do boiler. A circulação da água pode ser feita por termossifão (movimentação natural devido à diferença de densidades entre água quente e fria) ou por bombas, sendo que o sistema pressurizado só se justifica por razões técnicas. A tubulação quente é feita em geral de cobre, mas já existem outros materiais como o CPVC (ver referência TIGRE) e a fria por mangueiras de borracha ou tubos de PVC. O efeito termossifão requer o reservatório posicionado mais alto que os coletores, sendo ideal o sistema monobloco, com coletor e boiler solidários sobre o mesmo chassis, mais baratos e fáceis de instalar por terem menos conexões.

Os fabricantes oferecem alguns itens opcionais para os coletores: válvula anticongelamento para o coletor (locais com ocorrência de geada) e resistência elétrica blindada e termostato ou *timer* acoplados para o boiler (fonte auxiliar de aquecimento em caso de dias frios e nublados ou consumo exagerado). Alguns modelos prevêm a manutenção do chuveiro elétrico em lugar da resistência elétrica como forma de reduzir os custos. Com relação às casas já construídas sem tubulação para água quente, a solução tem sido utilizar misturadores de água quente/fria.

O dimensionamento do sistema baseia-se no volume de água consumido, no nível de insolação da região e condições locais de instalação (HOLMAN,1983). Costa (2002), afirma que os coletores solares domésticos são dimensionados para suprir 75% da energia térmica necessária, sendo os outros 25% provenientes da fonte auxiliar. Lima (2003) adota banhos de duração de 7,5 minutos com consumo de 45 litros/pessoa/dia (baixa pressão) para efeito de cálculo. Outro dado fornecido por Costa é que a metade do custo do coletor provém dos materiais nobres usados, enquanto que a outra metade é composta por mão de obra, impostos e outros custos.

Conforme Lima, na instalação do coletor deve-se observar a orientação para o norte geográfico (no Brasil), o ângulo de inclinação em relação ao plano horizontal e o não sombreamento do coletor. A manutenção destes sistemas consiste na lavagem dos vidros no inverno e eventual troca de componentes opcionais deteriorados. A garantia oferecida pelos fabricantes é de 5 anos em geral, mas a expectativa de vida dos coletores mais robustos é de 20 anos.

Com relação a *design*, segundo Gurgel (2001), o estilo (simetria, proporção, acabamento e cores utilizadas) valoriza o produto e tem relevância na decisão de compra dos consumidores. Kotler (1999) afirma que os consumidores apreciam produtos com aspectos inovadores, mas tendem a tomar decisões de compra com base em preço e valorizar facilidade de manutenção e assistência técnica quando adquirindo produtos sobre os quais têm pouca informação.

4. Análise do sistema usando QFD e AV/EV

O Modelo utilizado para a análise foi o indicado da figura 2.

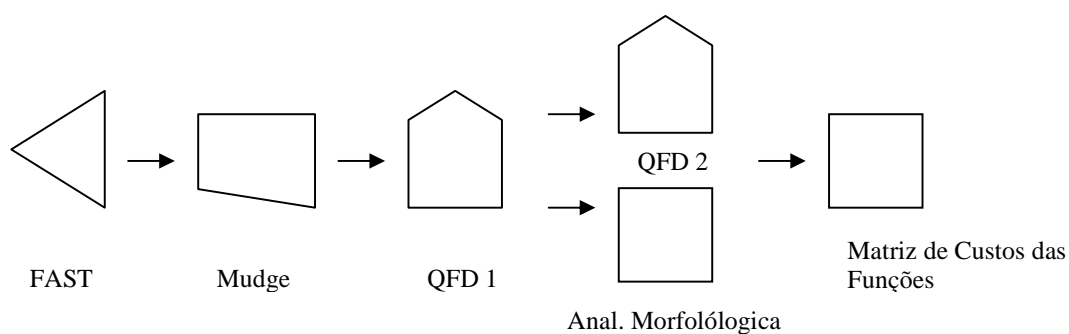


Figura 2 – Sequência dos diagramas

A análise foi feita da seguinte forma: a Voz do Cliente (seus requisitos) foram obtidos de uma mescla das propagandas publicadas pelos vários fornecedores pesquisados, assumindo-se que estes já realizaram as pesquisas necessárias a esta definição. Esta Voz do cliente foi então desdobrada em um diagrama FAST (Figura 3) para identificação das funções relacionadas. Imaginou-se uma família de 4 pessoas em São Paulo utilizando o sistema exclusivamente para banho.

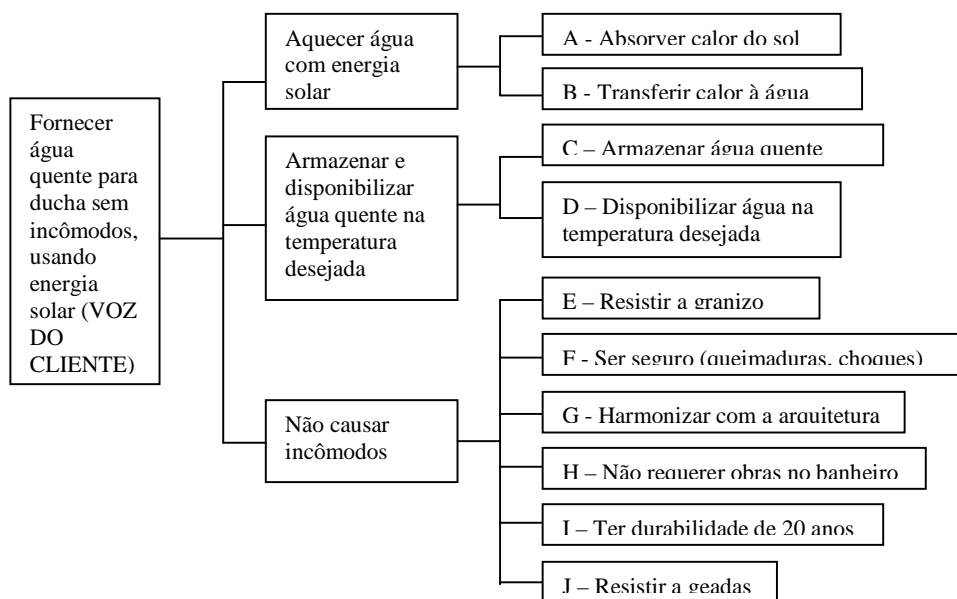


Figura 3 - Diagrama FAST

Na tentativa de reduzir custos, utilizou-se um diagrama Mudge (Figura 4) para comparar as funções entre si e eliminar aquelas que não agregam valor. Identificou-se que na comparação as funções I “durabilidade de 20 anos” e J “resistir a geadas” não seriam valorizadas pelo consumidor paulista e foram descartadas.

										Σ	%
A	B1	C1	D1	A1	F5	A1	A1	A3	A3	9	7,8
	B	B1	D1	B1	F5	B1	B1	B3	B3	11	9,6
		C	D1	C1	F5	G1	H1	C3	C3	8	7,0
			D	D1	F3	D3	D1	D5	D5	18	15,7
				E	F5	G1	H1	E1	E3	4	3,5
					F	F5	F5	F5	F5	43	37,4
						G	G1	G3	G3	9	7,8
							H	H5	H5	12	10,4
								I	I1	1	0,9
									J	0	0,0
									TOTAL	115	100,0

5 – Muito mais importante
3 – mais importante
1 – pouco mais importante

Figura 4 - Diagrama Mudge

As funções resultantes tornaram-se os requisitos do cliente em um diagrama QFD (Casa da Qualidade – Figura 5)). As características do produto foram baseadas nos requisitos do PROCEL e nos catálogos dos fabricantes. As correlações negativas encontradas fazem sugerir boiler e coletor monochassis e pintados da cor do telhado e uso de chuveiro e misturador para fonte auxiliar.

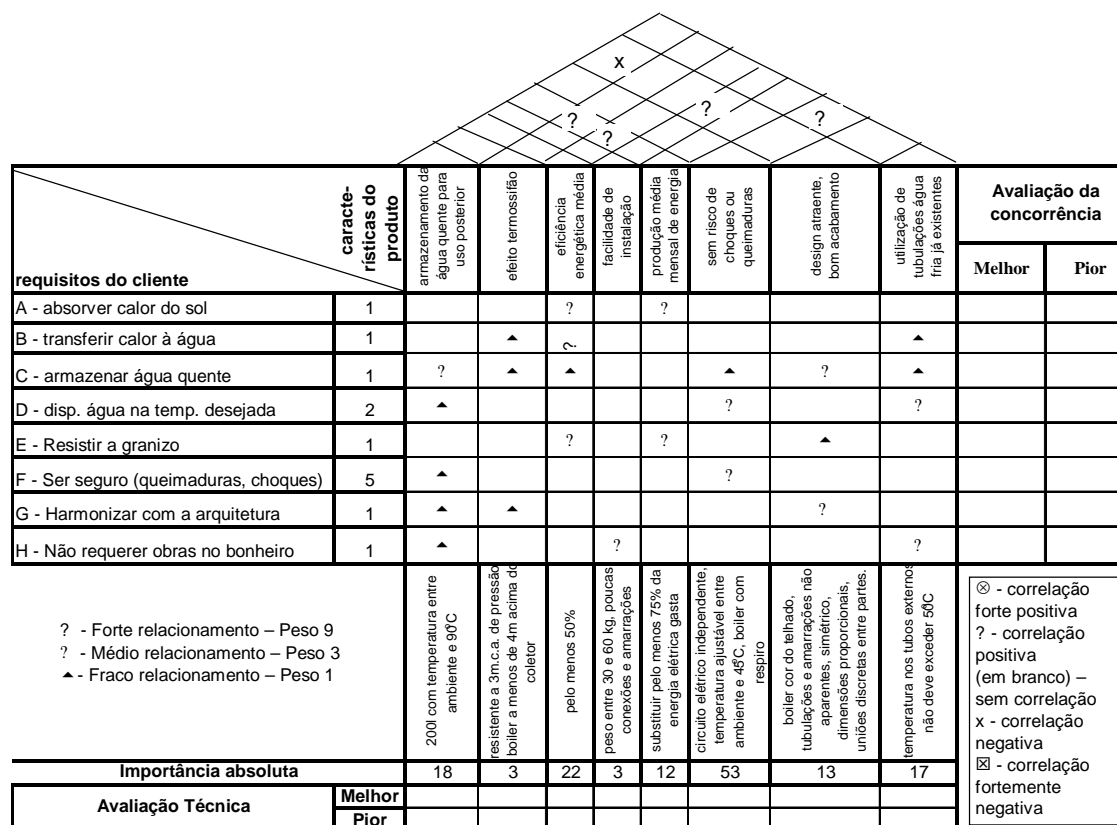


Figura 5 – Diagrama QFD – Casa da Qualidade

Para detalhar os componentes e materiais utilizados, foram feitos simultaneamente um novo diagrama QFD (Desdobramento dos Materiais e Componentes – Figura 6) e a Análise Morfológica (Tabela 1). As novidades com relação ao mercado seriam o boiler totalmente não ferroso, o uso do CPVC e a placa e tubos feitos a partir de chapas de alumínio sobre as quais foi aplicado solda em uma das faces e unidas em forno para formar uma única peça, com aumento do número de canais para melhorar eficiência (Figura 7).

Por fim as funções elencadas no Diagrama Mudge são comparadas com as características do produto e avaliadas com relação à distribuição dos custos pelas funções, para verificar alguma eventual distorção na Matriz de Custos da Função (Tabela 2). Os números entre parênteses são os correspondentes valores do Diagrama Mudge, onde pode-se ver que ainda há campo para eventuais correções de distorções e melhorias.

FUNÇÕES	POSSIBILIDADES				
- Armazenamento da água quente para uso posterior (200l com temperatura entre ambiente e 90oC) - Design atraente, bom acabamento (boiler cor do telhado, tubulações e amarrações não aparentes, simétrico, dimensões proporcionais, uniões discretas entre partes.)	Externo (proteção contra intempéries, aparência, não corroer)	Capa externa em chapa de alumínio corrugada (0,8mm) com calotas laterais em termoplástico	Chapa de alumínio soldada	Fibra de vidro	Chapa de aço carbono com pintura epoxi
	Interno (estanqueidade)	Cobre fosforoso ou eletrolítico (espessura 0,7mm) e solda foscooper (baixa pressão)	Chapa de aço inoxidável (ANSI304) e solda TIG (alta pressão)	Polipropileno	
	Isolamento térmico	Poliuretano expandido	lã de vidro (2")	Tanque vertical	
	Suportes (rigidez estrutural e fixação)	Perfil de aço com pintura eletrostática	Termoplástico	Perfil de aço galvanizado	
- Efeito termossifão (sistema resistente a 3m.c.a. de pressão, boiler acoplado ao coletor) - Facilidade de instalação (poucas conexões e amarrações)	Estanqueidade boiler	Boiler soldado	Boiler sem emendas		
	Estanqueidade coletor	solda Sn/Pb 60/40 ou Foscooper 92/8 (tubos de cobre)	Solda em forno de placas de Al com solda aplicada	Tubo contínuo, sem solda (dobrado)	Solda TIG (tubos de alumínio)
	Uniões entre caixa, coletor, boiler e misturador	Uniões roscadas (cobre)	Uniões soldadas (alumínio ou cobre)	Uniões coladas (PVC e CPVC)	Braçadeiras (mangueiras de borracha)
- Eficiência energética média (pelo menos 50%) - Produção média mensal de energia (substituir pelo menos 75% da energia elétrica gasta)	União placa/tubos (transmissão)	Soldados(solda Sn/Pb 60/40, Foscooper 92/8)	Prensados	solda por ultra-som (cobre)	Solda TIG (Al)
	Superfície transparente resistência ao granizo	Vidro liso temperado (3 a 4mm)	Chapa de policarbonato	Chapa de acrílico	
	Material da placa (absorção da radiação)	Chapa de cobre (0,15 a 0,3mm espessura)	Chapa de alumínio (0,4mm espessura)		
	Tubos (vazão e convecção)	Cobre (soldado)	Alumínio soldado		
	Camada enegrecida	tinta laca negra automotiva	película seletiva à base de titânio		
	Isolamento térmico	poliuretano expandido (injetado diretamente na caixa do coletor)	Fibra mineral, fibra cerâmica	lã de vidro (1")	vácuo
	Vedação entre moldura e superfície transparente	borracha de silicone	Perfil de borracha		
- Facilidade de instalação (peso entre 30 e 60 kg, poucas conexões e amarrações) - Design atraente, bom acabamento (boiler cor do telhado, tubulações e amarrações não aparentes, simétrico, dimensões proporcionais, uniões discretas entre partes.)	Moldura (55 a 65 mm altura). Não corroer. OBS.: a moldura não deve sombrear a placa	Chapa de aço galvanizado ou pintado ou aço inox fechados com rebites ou com cantos em material termoplástico resistente aos raios UV sem rebites.	Perfil de alumínio extrudado fechados com rebites ou com cantos em material termoplástico resistente aos raios UV sem rebites.	Chapa de alumínio polido ASTM 1100 0,5mm espessura dobrada sem emendas (monobloco), com rebites	GRP (poliéster reforçado com vidro)
	Tubulação boiler/misturador	cobre (1/2" com 0,5mm de espessura para elevação e 3/4" e 0,6mm de espessura para coleção)	Mangueiras de borracha (resistente aos raios UV) e braçadeiras	CPVC (colado)	
	União boiler /coletor	monochassi	Dutos cobre	Dutos borracha	Sem boiler
	Design	Boiler e moldura do coletor da cor do telhado, tubulações e amarrações não aparentes	Placa não quadrada (circular, hexagonal)		
- Sem risco de choques ou queimaduras (circuito elétrico independente, temperatura ajustável entre ambiente e 45oC, boiler com respiro) - Utilização de tubulações água fria já existentes (temperatura nos tubos externos não deve exceder 50°C)	Aquecimento auxiliar, respiro para evitar pressão excessiva no sistema, misturador com sensor para evitar estragos na tubulação existente.	Perfil de aço baixo carbono pintados com tinta epóxi Sem resistência acoplada (uso de chuveiro), com respiro, com misturador com sensor	termoplástico		

Tabela 1 - ANÁLISE MORFOLÓGICA

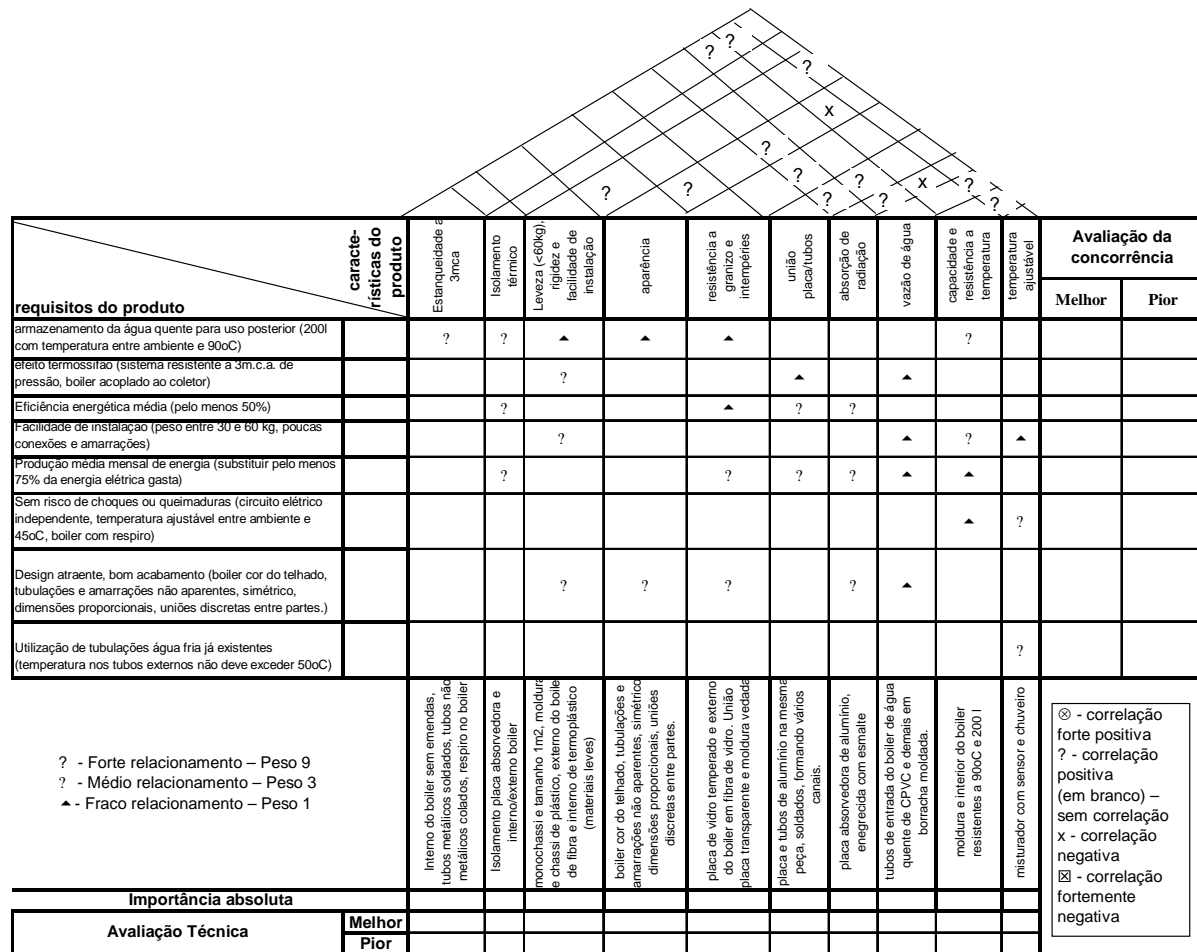


Figura 6 – Diagrama QFD – Desdobramento dos componentes e materiais

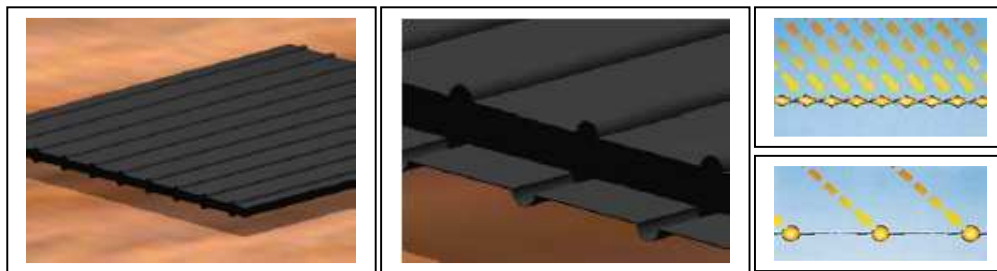


Figura 7 – Esquema da placa absorvedora estampada e soldada formando vários canais

Características	Funções								
	A - Absorver calor do sol	B - Transferir calor à água	C - Armazenar água quente	D - Disponibilizar água na temperatura desejada	E - Resistir a granizo	F - Ser seguro (queimaduras, choques)	G - Harmonizar com a arquitetura	H - Não requerer obras no banheiro	Total de custo da característica
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Boiler – externo em fibra de vidro pintada cor do telhado			20	5			1		26
Boiler – interno em polipropileno sem emendas com respiro			10	5					15
Boiler – isolamento em poliuretano expandido			1	1					2
Boiler e coletor monochassi – suporte termoplástico			1				1		2
Coletor – placas de alumínio estampadas e soldadas, pintadas com tinta laca negra automotiva	15	15							30
Coletor - vidro liso temperado (3 a 4mm)	1				1		1		3
Coletor – moldura em GRP pintada cor do telhado	4	4					1		9
Coletor – vedação borracha de silicone	1								1
Tubulação boiler/misturador de CPVC (colado)				2					2
Misturador com sensor						5		5	10
Total de custos da função	21 (7,8)	19 (9,6)	32 (7)	13 (15,7)	1 (3,5)	5 (37,4)	4 (7,8)	5 (10,4)	100

Tabela 1 - MATRIZ DE CUSTOS DAS FUNÇÕES

5. Conclusões

Um aquecedor solar de água residencial foi idealizado com o uso de QFD e AV/EV baseado em trabalhos já publicados e *benchmarking* de produtos comerciais. O resultado foi um produto com características diferenciadas do mercado e menor custo inicial, atendendo aos propósitos do artigo. Futuros trabalhos poderão lançar mão de pesquisas de opinião de consumidores e produção de protótipos para avaliação dos resultados e melhorias nas distorções apontadas.

Adicionalmente o uso conjunto das ferramentas QFD e AV/EV mostrou-se uma metodologia interessante e pouco explorada para redução de custos de produtos mantendo sua funcionalidade e estética, com a vantagem adicional de estudarem-se funções implícitas que provavelmente não seriam citadas pelos consumidores utilizando apenas o QFD.

Alguma restrição feita ao uso da AV/EV junto com QFD foi anulada descrevendo-se as funções não apenas como verbo+substantivo, mas complementando-se com quantidades, advérbios ou adjetivos.

6. Referências bibliográfica

- HOLMAN, Jack Philip. **Transferência de calor**. Tradução Luiz Fernando Milanez; revisão técnica José Maria Saiz Jabardo. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983.
- TOFLER, Alvim. **A Terceira Onda**. Tradução João Távora, 17^a. Edição. Rio de Janeiro: Editora Record, 1980.
- GURGEL, Floriano C. A. **Administração do produto**. – 2^a. ed. – São Paulo: Atlas, 2001.
- CSSILAG, João Mário. **Análise do Valor**, São Paulo:Atlas, 1985.
- MARAMALDO, Dirceu. **Análise de Valores**, 3a. Edição. Rio de Janeiro: Intercultural, 1993.
- KOTLER, Philip e Armstrong, Gary, **Princípios de Marketing**, 7a. Edição. Tradução Vera Whately. Revisão técnica: Roberto Meireles Pinheiro. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1999.
- MILES, Lawrence D., **Techniques of Value Analysis and Engineering**, 2nd Edition, USA: McGrawHill Inc., 1972
- WILSON, Frank W., **Value Engineering in Manufacturing**, American Society of Toll and Manufacturing Engineers (ASTME), New Jersey-USA, Prentice –Hall Inc., 1967
- GOLDEMBERG, José. **Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: LTC, 1979
- AKAO, Yoji. **Quality Function Deployment – Integrating customer requirements into product design** - EUA: Productivity Press, 1990.
- GUINTA, Lawrence R., Praizler, Nancy C.; **Manual de QFD** – Rio de Janeiro: LTC, 1993
- CARVALHO, Marly Monteiro de. **QFD – Uma ferramenta de tomada de decisão em projeto**. Dissertação (Doutorado) – Depto. de Enga. de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- CHENG, Lin Chih [et al]. **QFD – planejamento da qualidade**. Belo Horizonte: UFMG, Escola de Engenharia, Fundação Cristiano Ottoni, 1995.
- CHENG, Lin Chih. **QFD in product development: Methodological characteristics and a guide for intervention**. *The International Journal of Quality & Reliability Management*; 2003; 20, 1; pg. 107
- FRANCESCHINI, Fiorenzo e ROSSETTO, Sergio. **Tools and supporting techniques for design quality**. *Benchmarking: An International Journal*, Vol.6, No. 3, 1999, p.212-219.
- CAUCHICK Miguel, Paulo A.. **The state-of-the-art of the Brazilian QFD applications at the top 500 companies** *The International Journal of Quality & Reliability Management*; Vol.20, No.1; 2003; pg. 74-89
- COSTA, Eurides Ramos. **Limitações no uso de coletores solares sem cobertura para sistemas domésticos de aquecimento de água**. Orientador Prof. Arno Krenzinger. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na Escola de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.
- SILVA, Fabio L.R.; CAVALCA, Katia L.; DEDINI, Franco G.. **Combined application of QFD and VA tools in the product design process**. *The International Journal of Quality & Reliability Management*; 2004; 21, 2/3; pg.231
- FANG, W.H. e ROGERSON, J.H.. **Value engineering for managing the design process**. *The International Journal of Quality & Reliability Management*, 1999. **Vol.16, N. 1; pg. 42**
- LIMA, Juliana B. A. **Otimização de sistemas de aquecimento solar de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS**. Orientador Prof. Dr. Racine Tadeu Araújo Prado. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Depto de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2003
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. PBE – Programa Brasileiro de Etiquetagem. **Regulamento Específico para Uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia – ENCE. Sistemas e Equipamentos para Aquecimento Solar de Água**. Revisão 5, 2004

SOLETROL. Aquecedores solares. Disponível em www.soletrol.com.br. Acessado em 12/7/05.

ASTROSOL. Aquecedores solares. Disponível em www.astrosol.com.br. Acessado em 12/7/05.

CUMULUS. Aquecedores solares. Disponível em www.cumulus.com.br. Acessado em 12/7/05.

TECNOSOL. Aquecedores solares. Disponível em www.tecnosol.com.br. Acessado em 12/7/05.

SOLAR MINAS. Aquecedores solares. Disponível em www.solarminas.com.br. Acessado em 12/7/05.

GREEN SOLAR. Grupo de Estudos de Energia da PUC-MG. Disponível em www.green.pucmg.br. Acessado em 12/7/05.

ABRAVA-Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. (Machado, Odete. Expectativas positivas para 2004. Revista ABRAVA ano 27 edição 209, dez/2003). Disponível em www.abrava.com.br. Acessado em 12/7/05.

TIGRE. Tubos de CPVC referência “aquaterm”. Disponível em www.tigre.com.br. Acessado em 12/7/05.