INTERNATIONAL 2nd WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION
"KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE"

Proposição de um Método para a Remanufatura Baseado em QFD

F. N. Puglieri [a]

a. Universidade de São Paulo, São Carlos, puglieri@usp.br

Abstract

The increasing of eco-design methods during the last decade helped designers to consider the environmental issues in the product development. But many of these methods don't analyze the end-of-life strategies of the product, as for example the remanufacturing. This paper has as the goal to propose a method based on *Quality Function Deployment* (QFD) applied on the remanufacturing. This method can help designers in the early phases of the product development where the main decisions about remanufacturing must be taken.

Keywords: QFD, Remanufacturing, Product Development.

1 Introdução

Nas últimas décadas foi possível presenciar um aumento da preocupação ambiental em decorrência de eventos ocorridos, tais como o aumento da temperatura global em decorrência da concentração de gases na atmosfera, redução de recursos naturais não-renováveis e de espécies animais e vegetais, entre outros acontecimentos. Diante de tal quadro e de pressões sociais e governamentais, neste mesmo período entidades de pesquisa e empresas iniciaram uma busca por alternativas tecnológicas que minimizassem os danos ambientais que eram causados pelas atividades humanas. Uma destas alternativas foi voltada para o desenvolvimento de produtos, de forma que os impactos ambientais que o produto poderá gerar ao longo de todo seu ciclo de vida sejam considerados logo nas primeiras fases do desenvolvimento. A inserção da análise ambiental nas fases iniciais do desenvolvimento de produtos ficou conhecida como *eco-design* ou *DfE (Design for Environment)*.

Uma das formas que se tem aplicado o *eco-design* se dá através das alternativas da fase de pós-uso do produto utilizando da logística reversa. Ou seja, finalizada a etapa de uso do produto, o mesmo que seria descartado pelo consumidor volta à cadeia produtiva, como se pode notar pela figura 1:

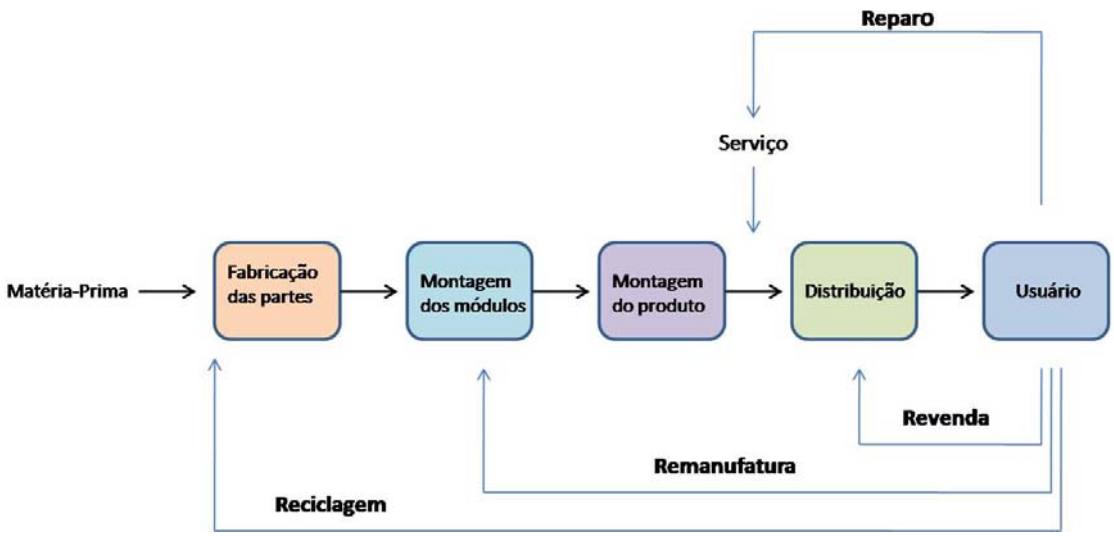

Fig. 1. Algumas alternativas de fim de vida do produto. Adaptado de Thierry *et al* (1995)

Assim este trabalho tem por finalidade propor um método que auxilie designers no processo de desenvolvimento de produtos para a remanufatura. O método aqui apresentado foi baseado no QFD (*Quality Function Deployment*), ferramenta bastante aplicada tanto por profissionais de Qualidade, quanto de Desenvolvimento de Produtos. A identificação das principais características desejadas para produtos remanufaturáveis e a identificação da importância relativa de cada componente pode auxiliar no desenvolvimento de produtos que possam ser encaminhados ao processo de remanufatura em sua fase de pós uso.

A metodologia adotada nesta pesquisa é de natureza aplicada, de abordagem qualitativa e de objetivos exploratórios, ou seja, através de pesquisas bibliográficas e um estudo de caso, este trabalho busca gerar soluções para um problema específico.

Para ilustrar o método será apresentado um exemplo na qual o produto a ser reprojetado para a remanufatura será um secador de cabelos.

2 Eco-Design

Segundo Manzini e Vezzoli (2002), Eco-Design e DfE são termos sinônimos utilizados no desenvolvimento de produtos quando as variáveis ambientais são consideradas, ou seja, quando o projeto do produto leva em consideração aspectos que possam causar impactos no meio ambiente. Outra definição para eco-design apontada por Lindahl (2000) mostra que o DfE pode ser entendido como o "desenvolvimento de produtos através da aplicação de critérios ambientais objetivando redução de impactos ambientais em todas das fases do ciclo de vida do produto".

Segundo a ABNT NBR ISO 14062 (2004), a integração dos aspectos ambientais no desenvolvimento de produtos pode permitir entre outros benefícios:

- Redução de custos através da otimização do uso de materiais e energia, processos mais eficientes e redução de resíduos;
- Estímulo à inovação e criatividade;

- Identificação de novos produtos, por exemplo à partir de materiais descartados e/ou reciclados;
- Atingir ou superar as expectativas dos clientes;
- Melhoria da imagem da organização ou da marca;
- Incremento da fidelidade do cliente;
- Atração de financiamento e investimento, particularmente de investidores ambientais conscientes;
- Aumento da motivação dos empregados;
- Incremento do conhecimento sobre o produto;
- Redução de infrações legais por meio da redução de impactos ambientais;
- Redução dos riscos;
- Melhoria das relações com as agências reguladoras;

O eco-design (ou DfE) é comumente aplicado por meio de métodos e ferramentas, qualitativas ou quantitativas, como matrizes, checklists e até mesmo softwares (PIGOSSO e GUELERE, 2007). Alguns destes métodos consistem em variações de ferramentas utilizadas em outras atividades de uma empresa, como o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e o QFD, apresentados por Lindahl (2000) e Masui *et al* (2002) respectivamente.

Sendo aplicado através da inserção ambiental no desenvolvimento de produtos, o eco-design pode abranger diversas finalidades, como realizar quantificações e comparações entre produtos numa perspectiva de ciclo de vida (método de ACV) e até mesmo considerando as alternativas de fim de vida do produto, como a remanufatura, por exemplo.

3 Remanufatura

Alguns métodos de eco-design são aplicados com a intenção de se desenvolver produtos dentro de uma estratégia de fim de vida, como por exemplo, para a reciclagem ou para a remanufatura.

Quando se fala em remanufatura, normalmente este termo acaba se confundindo com outros procedimentos que são aplicados a produtos no final do ciclo de vida, tais como reuso, recondicionamento ou até mesmo reparo. Segundo Gray e Charter (2006), um produto só pode ser considerado remanufaturável "quando são trazidos pelo menos a mesma especificação do fabricante original (OEM) sob a perspectiva do consumidor e dada uma garantia igual ou equivalente a um produto novo".

Assim, podemos definir um produto ou componente remanufaturável como sendo aquele que possa ser trazido à condição de novo após ser utilizado (ou descartado) pelo consumidor (STEINHILPER, 1998).

Gray e Charter (2006) citam importantes benefícios ambientais ao se optar pela fabricação de produtos remanufaturáveis:

- Produção e consumo sustentáveis, pois a remanufatura considera produtos descartados como sendo uma forma de recurso;

- Redução de até 85% no consumo de energia, diferença esta resultante entre os processos de remanufatura e a manufatura;

- Redução do descarte em aterros, redução da poluição e economia de recursos naturais;

A remanufatura pode estar associada à diversos DfXs, conjuntos de técnicas e procedimentos aplicadas no desenvolvimento de produtos, como o DfD (design for disassembly) e o DfU (design for upgrade), isto porque para facilitar o processo de remanufatura de um item, este deve possuir determinadas caracteristicas, como facilidade para desmontagem e para limpeza, como sugere Gray e Charter.

Para que um produto seja remanufaturável, este deve passar por 7 processos: coleta do núcleo, inspeção, desmontagem, limpeza, reparo (quando necessário), remontagem e teste.

Apresentado por Sundin (2004), a matriz RemPro foi um método para a remanufatura que permitiu relacionar as caracteristicas desejadas para os produtos com os 7 processos já descritos anteriormente, como é possível observar na figura 2.

Cada propriedade do produto pode ter uma relação com uma ou mais etapas do processo de remanufatura, como por exemplo: a facilidade de separar os componentes do produto pode estar relacionada ao processo de desmontagem e reparo, enquanto facilidade de acesso pode se relacionar com coleta do núcleo.

Processos da remanufatura / Propriedades do produto	Coleta do núcleo	Inspeção	Desmontagem	Limpeza	Reparo	Reomontagem	Teste
Fácil de Identificar							
Fácil de Verificar							
Fácil acesso							
Fácil de Manusear							
Fácil de Separar							
Seguro							
Fácil de Alinhar							
Fácil de Estocar							
Resistente							

Fig. 2. Matriz RemPro. Adaptado de Sundin (2004)

Algumas características da matriz RemPro, como a facilidade de separar e de manusear o produto, segurança e resistência, por simplificarem as atividades do processo de remanufatura serão utilizadas na proposição do método deste trabalho.

4. Quality Function Deployment (QFD) e Eco-Design

Com o objetivo de traduzir as necessidades dos consumidores em requisitos de produto e de processos, os pesquisadores japoneses Shigeru Mizuno e Yoji Akao desenvolveram no final da década de 70 o método chamado de QFD (Quality Function Deployment) ou em português, Desdobramento da Função Qualidade.

Rozenfeld *et al*. enumera uma série de benefícios ao se trabalhar com o QFD no desenvolvimento de produtos, como a redução do número de mudanças de projeto, diminuição do ciclo de projeto, redução de reclamações de garantia, favorecimento da comunicação entre os diferentes agentes que atuam no desenvolvimento de

produto, tradução das vontades dos clientes (abstratas) em características mensuráveis, etc.

Através de um processo evolutivo, o QFD recebeu novas versões, como o QFD estendido, o QFD de 4 fases e o QFD de King. Algumas outras versões do QFD foram desenvolvidas com o propósito de se projetar o produto para o meio ambiente, promovendo a redução de impactos durante as diversas fases do ciclo de vida. Um destes primeiros métodos foi o Green QFD-II, integrando ao método a análise de ciclo de vida (ACV) e de custo de ciclo de vida (LCC). Outros pesquisadores continuaram a trabalhar como QFD como ferramenta de eco-design, como Masui *et al.* (2001) que desenvolveram um conjunto de 15 requisitos ambientais da voz do consumidor (VOC) e 15 métricas de engenharia para o QFD com o objetivo de facilitar a aplicação da metodologia por designers não familiarizados com as ciências ambientais.

5 QFD para Remanufatura

O método aqui proposto foi desenvolvido tendo como base inicial o QFDE apresentado por Masui *et al*. (2001), porém restringindo a quantidade de requisitos da voz do consumidor e das métricas de engenharia e acrescentando outras características consideradas importantes para a remanufatura, tanto no que se refere à engenharia quanto aos requisitos do consumidor (propriedades do produto), considerado neste trabalho como sendo quem prestará o serviço de remanufatura, e não o consumidor final.

A primeira fase do método consiste em desdobrar os requisitos de remanufatura (propriedades do produto) em métricas de engenharia. Para isto são distribuídos pesos de acordo com as relações existentes na matriz. Quando a relação é considerada forte, esta recebe o peso 9. Quando a relação é moderada, recebe o índice 3. Por fim, quando a relação é fraca, dá-se o peso 1.

O método foi elaborado pensando na aplicação nas primeiras fases do desenvolvimento do produto, quando as principais decisões referentes às características do produto são tomadas. Considerando o modelo de referência de Rozenfeld *et al*. (2006), o QFD para remanufatura pode ser aplicado logo nas primeiras fases do desenvolvimento do produto, ou seja, nas fases de projeto informacional e conceitual.

É importante salientar que a estrutura do QFD apresentado neste trabalho não é rígida, ou seja, propriedades e métricas de engenharia podem ser retiradas e novas acrescentadas considerando a complexidade e características de cada produto em questão.

6 Exemplificação do método

O exemplo apresentado neste trabalho se trata de uma aplicação preliminar, tendo como objetivo a ilustração do método de QFD para remanufatura.

Na Fase 1 do método proposto, foi inserido uma conjunto de 9 linhas que representam as propriedades desejadas para produtos remanufaturáveis: Fácil acesso ao produto; Fácil de desmontar; Fácil de limpar; Fácil de identificar; Fácil de manusear; Fácil de separar os componentes; Fácil de remontar; Fácil de estocar e armazenar; e Resistente ao desgaste. Já do lado direito da matriz foram inseridas 7 colunas, cada uma considerando uma característica de engenharia, como: Peso; Volume; Número de partes; Número de tipos de materiais combinados; Sistema

modular; Durabilidade dos componentes; e Toxidade dos materiais, como segue na figura 3.

QFD para remanufatura - Fase 1

Propriedades do produto		Métricas de Engenharia						
		Peso	Volume	Nº de partes	Nº de tipos de materiais combinados	Sistema modular	Duralibidade dos componentes	Toxidade dos materiais
Fácil acesso ao produto remanufaturável		9	9				3	
Fácil de desmontar		3	3	9	3	9	1	3
Fácil de limpar				9				
Fácil de identificar					9			
Fácil de manusear		3	3		9			9
Fácil de separar os componentes					9	9		
Fácil de remontar				9				
Fácil de estocar/ armazenar			9	9		9		3
Resistência ao desgaste							9	
	Pontuação bruta	15	24	36	30	27	13	15
	Peso relativo	0,094	0,150	0,225	0,188	0,169	0,081	0,094

Fig. 3. Fase 1 do QFD para remanufatura

Nesta fase cada propriedade do produto foi relacionada com cada métrica de engenharia, distribuindo-se pontos variando entre 9, 3 e 1 conforme foi verificando relações entre elas. Para cada item das métricas de engenharia foi realizada uma soma, chamada de pontuação bruta, seguido do peso relativo (ou percentual) deste item. É por meio do peso bruto e relativo que torna possível verificar quais características de engenharia devem ser mais desenvolvidos para a remanufatura do produto em questão.

Os pesos relativos são transpostos para a coluna “Pesos relativos da Fase 1” na Fase 2, como é possível observar na figura 4. Nesta fase é feita uma nova relação, porém substituindo as “Propriedades do produto” e “Métricas de engenharia” por “Métricas de engenharia” e “Componentes do produto” respectivamente.

QFD para remanufatura - Fase 2

Métricas de Engenharia	Pesos relativos Fase 1	Componentes do Produto			
		Motor	Ventoinha	Sistema de aquecimento	Carcaça
Peso	0,094	9	3	3	3
Volume	0,150	3			9
Nº de partes	0,225	9	1	3	
Nº de tipos de materiais combinados	0,188	9		3	3
Sistema modular	0,169				
Duralibidade dos componentes	0,081	3	3	3	3
Toxidade dos materiais	0,094	3			1
	Pontuação bruta	5,531	0,750	1,763	2,531
	Peso relativo	0,523	0,071	0,167	0,239

Fig. 4. Fase 2 do QFD para remanufatura

Distribuindo os pesos conforme se verifica a relação entre as métricas de engenharia e os componentes do produto, torna-se necessário calcular a pontuação bruta e a relativa, como na fase anterior. Porém, antes é preciso considerar os pesos relativos à Fase 1. Este cálculo deve ser realizado por meio da somatória da multiplicação do peso relativo pelo índice de cada componente. Deste modo obtemos a pontuação bruta e em seguida a relativa, tornando possível identificar quais componentes devem ser mais trabalhados para garantir a remanufatura, como o motor do exemplo.

7 Resultados e Discussões

O exemplo do método proposto para o um secador de cabelos trouxe como resultados da Fase 1 que o Número de partes e o Número de materiais combinados apresentaram os maiores índices (0,225 e 0,188 respectivamente). Deste modo, estas métricas de engenharia deveriam ter prioridade em um processo de revisão do projeto do produto para que facilite o processo de remanufatura.

Na Fase 2 de desdobramento das métricas de engenharia em componentes do produto, foi possível observar que o motor apresentou o maior índice relativo com 0,523, mostrando que este componente do produto deve ser mais trabalhado pela equipe de designers para auxiliar na remanufatura.

Com base no exemplo apresentado, foi possível observar que o QFD para a remanufatura pode auxiliar no desenvolvimento de produtos que se propõem em ser remanufaturáveis, pois ele relaciona as principais características desejáveis para o produto com as características de engenharia, e estas com os componentes do produto, identificando quais itens têm maior importância relativa.

O método de QFD proposto neste trabalho também apresenta a vantagem de ser baseado em uma ferramenta já consagrada em desenvolvimento de produtos,

sendo deste modo já conhecida por engenheiros e profissionais desta área, facilitando seu entendimento e aplicação.

É importante salientar que a adição de novas propriedades do produto, ou mesmo novas métricas de engenharia podem ser realizadas ao modelo proposto, pois diferentes produtos podem requerer análises mais profundas. Uma outra alternativa para a utilização deste modelo está em inserir as propriedades e métricas de remanufatura dentro do modelo de QFD já utilizado por uma empresa ou até mesmo de um QFD de eco-design, como o QFDE.

8 Referências Bibliográficas

Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2004. NBR ISO 14062: Gestão Ambiental – Integração de aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento do produto. ABNT, Rio de Janeiro.

Gray, C., Charter, M. 2006. Remanufacturing and Product Design – Designing for the 7th generation. The centre for sustainable design.

Lindahl, M. 2000. Environmental Effect Analysis (EEA) – An approach to design for environment. Stockholm.

Manzini, E., Vezzoli, C. 2002. O Desenvolvimento de Produtos Sustentáveis – Os requisitos ambientais dos produtos industriais. Edusp, São Paulo.

Masui, K., Sakao, T., Inaba, A., 2001. Quality Function Deployment for Environment: QFDE (1st Report) – A Methodology in Early Stage of DfE. IEEE.

Pigosso, D. C. A., Guelere Filho, A. 2007. Proposta de roteiros para a sistematização do uso de métodos e ferramentas de ecodesign. IX Engema – Encontro Nacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente

Rozenfeld, H., Forcellini, F.A., Amaral, D.C., Toledo, J.C., Silva, S.L., Alliprandini, D.H., Scalice, R.K. 2006. Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo. Editora Saraiva, São Paulo.

Steinhilper, R. 1998. Remanufacturing: The Ultimate Form of Recycling.

Sundin, E. 2004. Product and Process Design for Successful Remanufacturing. Linköping, Sweden.

Thierry, M., Salomon, M., Nunen, J., Wassenhove, L.V. 1995. Strategic Issues in Product Recovery Management. California Management Review. Vol. 37, nº2.

Zhang, Y., Wang, H.P., Zhang, C. 1999. Green QFD-II – A life cycle approach to environmentally conscious manufacturing by integrating LCA and LCC into QFD matrices. International Journal of Production Research. Vo. 37, 1075-1091.