



PROJETO PARA RECICLAGEM (DESIGN FOR RECYCLING): PROTÓTIPO DE UMA IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Márcia Y. Matuo

CTA –ITA- IEMP

12228-900 – São José dos Campos – SP , Brasil

Luís G. Trabasso

CTA –ITA- IEMP

12228-900 – São José dos Campos – SP , Brasil

***Resumo.** Esse trabalho apresenta o protótipo de uma ferramenta computacional que visa fornecer aos projetistas, as informações necessárias para que, ainda na fase de concepção do produto, sejam considerados e avaliados as melhores configurações e alternativas de montagem de componentes que tornem economicamente viável o processo de reciclagem do produto. Visto sob esse ângulo, o programa descrito nesse trabalho insere-se no conjunto de ferramentas que operacionalizam o conceito de Engenharia Simultânea ou Desenvolvimento Integrado de Produtos.*

A implementação das diretrizes e regras de reciclagem foram baseadas na norma de reciclagem da Associação Alemã de Engenheiros (VDI 1993), utilizada com sucesso há cinco anos pela BMW. A reciclagem de um componente é avaliada de acordo com o índice de suscetibilidade para reciclagem, que é calculado através de vários critérios tais como: importância do material, tecnologia de montagem e características geométricas do componente. O protótipo computacional ainda em desenvolvimento será escrito em linguagem VisualBasic[®] e apresenta uma interface amigável para o usuário, dentro do padrão Windows[®].

***Palavras-chave:** Projeto para reciclagem, Projeto para desmontagem, Engenharia simultânea*

1. INTRODUÇÃO

A reutilização de bens manufaturados pela reciclagem de materiais e partes está se tornando de grande importância, especialmente em sociedades industrializadas onde os recursos naturais estão se tornando escassos. Como resultado, esforços têm sido feitos para projetar produtos e sistemas de modo a facilitar a sua reciclagem depois de utilizados. Essa abordagem de projeto, frequentemente chamada de DFE – Design for Environment (Projeto voltado ao meio-ambiente), tem uma variedade de implementações: DFR – Design for Recycling (Projeto para Reciclagem) , LCA (Análise de Ciclo de Vida), DFD – Design for Disassembly (Projeto para Desmontagem) , entre outras.

Embora a preocupação de reciclagem exista para vários produtos, a indústria automobilística é a pioneira e a que lidera a implementação desses programas.

O descarte de automóveis, é uma tendência mundial e vem crescendo ano a ano. Segundo dado da Adac , o maior clube de automóveis da Alemanha, nos países industrializados, onde o desmanche de automóveis é prática corrente, reciclam-se cerca de 75% do peso de um veículo. Estipula-se que esse índice deve chegar a 85% no ano 2002, e a 95%, em 2015 .

No Brasil, começa a se perceber a importância de programa de reciclagem. Em outubro de 1998, o Ministério da Indústria, Comércio e Turismo (Mict) encomendou à Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (Abimaq), projetos de equipamentos a serem utilizados na reciclagem; atualmente esses equipamentos não existem no Brasil. O Mict está também elaborando um tipo de bônus, a ser concedido aos proprietários de veículos, para estimulá-los a entregar os seus carros para a reciclagem

Como parte desse trabalho, foi feita uma pesquisa com as montadoras de automóveis, para se ter uma idéia do nível de preocupação com a reciclagem de automóveis no Brasil e também para se obter possíveis estudos de caso industriais para aplicação do protótipo computacional proposto nesse trabalho. Pode-se constatar que já há uma maior preocupação com essa questão, representada pelos dois exemplos apresentados a seguir:

Em São Paulo, há uma multinacional espanhola , a Cesvi , que desenvolve pesquisas e possui um centro de desmontagem de automóveis relacionado às partes plásticas.

A FIAT automóveis sediada em Betim pretende montar na Grande Belo Horizonte, o Centro Piloto de desmontagem de Veículos.

Proposta de Desenvolvimento do Protótipo Computacional. O protótipo computacional para reciclagem será baseado no programa desenvolvido por Boothroyd & Dewhurst (1996) - Design for Environment (DFE). Nesse programa, pode-se avaliar o projeto do produto em termos de desmontagem e custos ao longo do ciclo de vida do produto. A esse programa será acrescentado um sistema especialista, de modo que conhecimentos sobre o processo de reciclagem na fase de concepção do produto possam ser disseminados e utilizados por um grande número de pessoas, além de englobar o conhecimento de vários especialistas numa só base de dados. O protótipo computacional será caracterizado por 3 diretrizes:

- a) **Norma de reciclagem da BMW** : As regras de reciclagem serão baseadas nesse guia (Franze,1997) , através do qual se fará a especificação dos componentes do produto em ordem de desmontagem e se calculará o índice de suscetibilidade para reciclagem. Através desses dados, se terá as características de desmontagem, o tempo e o custo para cada item, e o material escolhido para o componente.
- b) **Design for Disassembly (DFD)** : Esse sistema é uma importante ferramenta (Dowie et. al ,1995) que se encontra dentro do contexto do Design for Enviroment, pois no projeto voltado para desmontagem, um critério essencial é assegurar que os componentes do produto sejam facilmente reciclados.
- c) **Análise de Custo e Benefício:** Através dessa análise (Navin-Chandra ,1994) pode se determinar uma seqüência de desmontagem que maximize os ganhos ou minimize as perdas , indicando até que ponto a desmontagem pode ir.

É apresentado a seguir um fluxograma que relaciona as várias contribuições para o protótipo computacional.

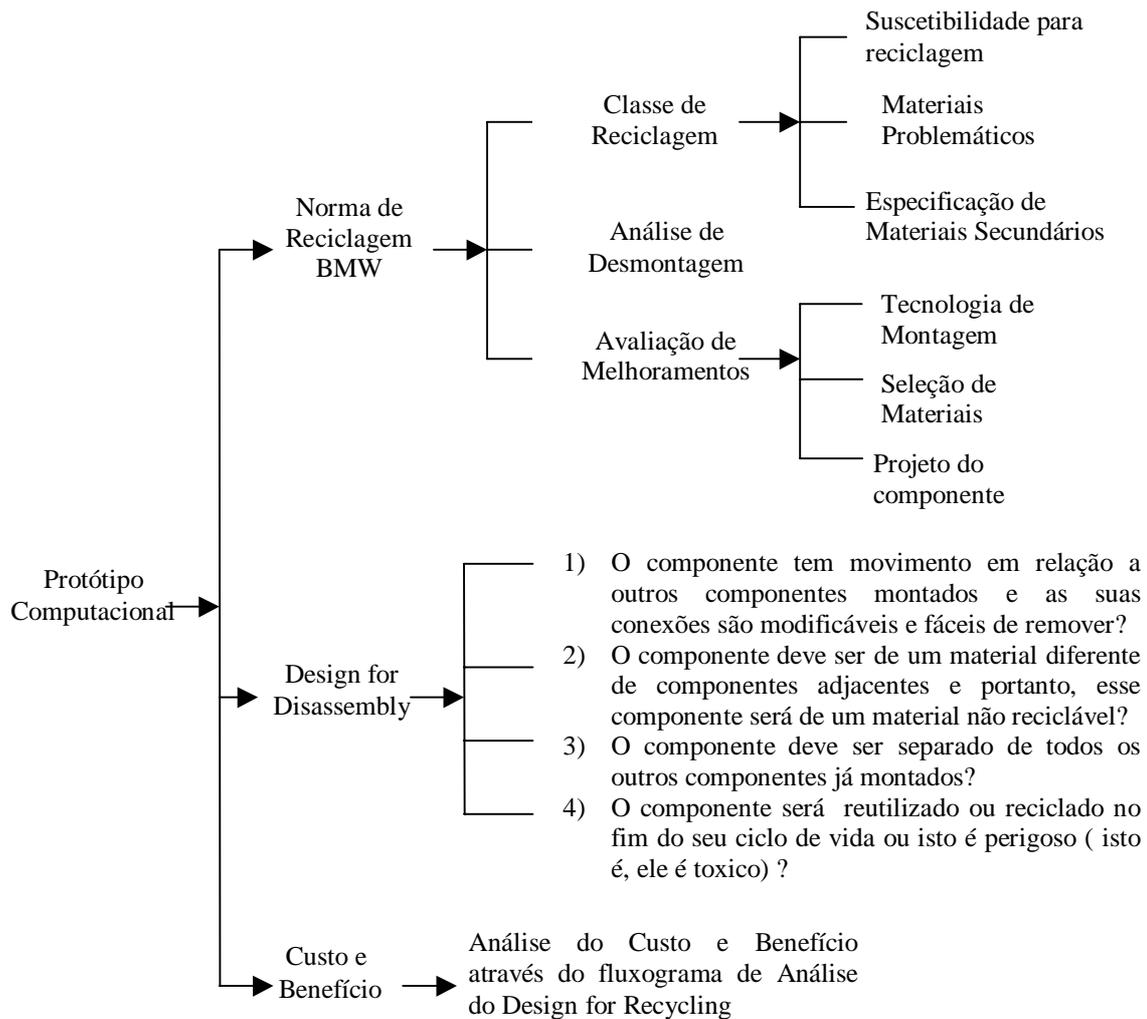


Figura 1- Fluxograma da relação das contribuições para o protótipo computacional

2. NORMA DE RECICLAGEM DA BMW

2. 1 Procedimentos de reciclagem

É apresentado a seguir, os procedimentos de reciclagem em operação na BMW (Franze,1997).

Na BMW, há uma classificação sistemática de todos os componentes automotivos de acordo com a norma desenvolvida pela própria BMW. Todo componente é classificado de acordo com esta norma utilizando-se os critérios de “susceptibilidade para reciclagem”, “materiais problemáticos”, e “especificação de materiais secundários”.

Suscetibilidade para reciclagem(SR). A susceptibilidade para reciclagem é determinada pela soma de custos de novos materiais e despesas dividida pela soma de custos de desmontagem, reprocessamento e logística.

$$SR = \frac{\text{Custo (equivalente ao Novo Material (N) + Venda (DS))}}{\text{Custo (desmontagem (D) + Reprocessamento (R) + Logística(L))}}$$

(1)

Materiais problemáticos. São materiais, substâncias e elementos, os quais, em termos de sua compatibilidade ambiental ou toxicidade baseada na lei ou outras regulamentações são evitadas.

Especificação de materiais secundários. Os materiais secundários devem estar dentro das especificações de reciclagem dos materiais, notando-se não é tóxico e se pode ser reaproveitado. Observa-se que essa especificação não é necessária para materiais ferrosos.

Utilizando-se uma matriz de avaliação, a classificação dos componentes é conduzida de acordo com os critérios descritos acima.

Tabela 1. Matriz de avaliação para classificação de componentes

Classe de reciclagem	Suscetibilidade para reciclagem	Materiais problemáticos	Especificação de materiais secundários
R1	>100%	Nenhum	dado
R2	80 a 100%	Abaixo do valor alvo	Não é possível
R3	< 100%	Acima valor alvo	Não processado

2.2 Análise de desmontagem.

A BMW começou seu plano piloto de desmontagem na fábrica em Landshut (Bavária) em junho de 1990, e o centro de reciclagem e desmontagem desde maio de 1994.

A BMW têm desenvolvido novos métodos e instrumentos que permitem ter uma visão geral da desmontagem e as condições de reciclagem do componente a ser projetado.

O principal fator de preocupação da empresa durante a fase de desmontagem de um veículo, foi a de executá-la de forma mais sistemática. Para isso, a estrutura do veículo foi dividida em módulos.

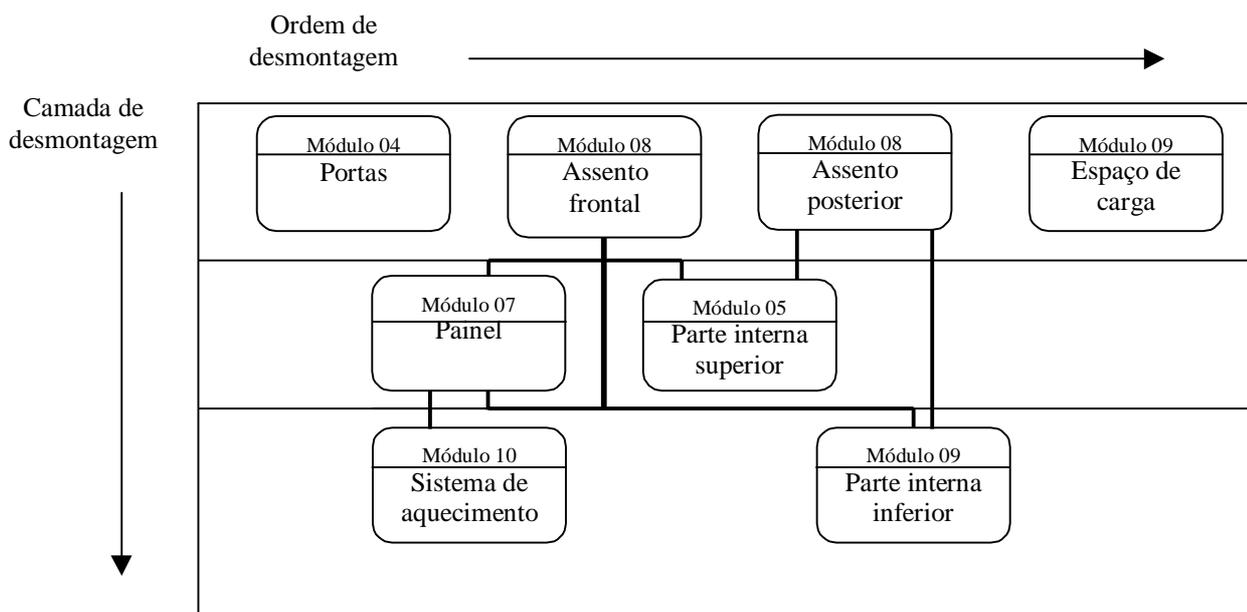


Figura 2- Módulos de desmantelamento BMW (interior)

Como se observa na figura 2, os módulos de portas e bancos constituem a primeira camada de desmontagem e os módulos dessa camada são independentes entre si, isto é, a desmontagem do carro pode começar ou com módulo 4 ou módulo 8. A seguir, o próximo nível, ou seja, módulo 5 e módulo 7 são desmontados. O módulo 9 somente pode ser desmontado após os módulos acima terem sido removidos.

2.3 Guia BMW.

A BMW criou um manual de reciclagem, no qual desde a fase de concepção do veículo, há a preocupação com a questão da reciclagem do produto. Esse manual fornece aos projetistas o melhor modo de projetar componentes mais fáceis de desmontar e reciclar. O guia geral é subdividido em 3 áreas: tecnologia de montagem, seleção de materiais e projeto do componente.

- a) **Tecnologia de montagem:** É um dos pré requisitos essenciais para o funcionamento da reciclagem. É de grande importância, que os materiais tenham sido projetados e de tal maneira que sejam fáceis de separar.
- b) **Seleção de material:** É de grande importância, sob o ponto de vista de reciclagem do material. A redução na variedade de materiais implica em economia e reciclagem eficientes. Uma variedade muito grande de materiais em um produto dificulta a sua separação e acarreta um aumento no custo. Se fosse funcionalmente possível, a solução ótima seria um sistema de componentes feitos de um mesmo material.
- c) **Projeto do componente:** A eficiência econômica de desmontagem de um componente é medida pela taxa de desmontagem, ou seja, quanto tempo, um componente leva para ser desmontado. O tempo menor de desmontagem implica em custo menor na reciclagem de um produto.

3. DESIGN FOR DISASSEMBLY

A partir da técnica de DFA proposta por Boothroyd and Dewhurst (1983), traça-se um paralelo com a técnica de DFD, como proposto por Dowie *et al* (1995).

Enquanto DFA é considerado como a principal ferramenta dentro do contexto de Projeto para Manufatura, o DFD pode ser usado dentro do contexto de Projeto voltado ao Meio ambiente.

Design for Assembly (DFA). Essa técnica mostra que se o produto foi projetado especificamente para montagem, o custo de manufatura cai de 20 a 40% e a produtividade de montagem subiria para 100-200%. Os projetos são analisados em um estágio anterior à produção para calcular o tempo de montagem e o número mínimo teórico de componentes. As áreas de montagem que necessitam ser alterados são realçados com este método, possibilitando a reposição e eliminação de componentes desnecessárias. Na fase de projeto conceitual, três questões são feitas sobre cada parte:

- 1) O componente possui movimento em relação ao conjunto?
- 2) O material do componente deve ser diferente daquele do conjunto?
- 3) O componente deve ser separado para permitir a montagem e desmontagem do conjunto?

O propósito destas questões é forçar o projetista a pensar sobre a função de cada componente e seu envolvimento no produto.

Design for Disassembly (DFD). Quando se projeta para desmontagem, é importante lembrar que o produto necessita ser projetado não somente para facilitar a desmontagem, mas também para assegurar que as partes do produto e materiais possam ser facilmente reciclados. Se o DFD é para ser usado de um modo equivalente ao DFA, então é importante que haja paralelo entre essas duas metodologias. Como visto anteriormente, o método DFA procura identificar partes desnecessárias de um produto, as questões usadas nessa análise podem ser adaptadas para um critério DFD . Há três principais áreas do projeto que necessitam ser examinados pelo DFD:

- 1) Conexões: poderiam ser modificados e facilmente removíveis.
- 2) Materiais: se os componentes individualmente são facilmente recicláveis, estes devem ser do mesmo material ou tipo de material.
- 3) Componentes: Na fase anterior ao projeto, deve se saber se o componente será reciclado, de modo a saber se será removido ou não.

Se estes princípios são usados efetivamente com as ferramentas DFA existentes, é possível adaptar as três questões originais DFA para o DFD.

As questões adaptadas são:

- 1) O componente tem movimento em relação a outros componentes montados e as suas conexões são modificáveis e fáceis de remover?
- 2) O componente deve ser de um material diferente de componentes adjacentes e portanto, esse componente será de um material não reciclável?
- 3) O componente deve ser separado de todos os outros componentes já montados?

E há uma pergunta adicional:

- 4) O componente será reutilizado ou reciclado no fim do seu ciclo de vida ou isto é perigoso (isto é, ele é tóxico) ?

Essas 4 questões resumem as questões chaves e atuam como uma revisão do projeto .

4. Custo Benefício

A idéia de projetar produtos e sistemas que apresentem facilidade de reciclagem é interessante e atraente. Mas, não se pode ignorar a análise da viabilidade econômica do processo, pois nem sempre a completa desmontagem de um produto é vantajosa . Navin-Chandra (1993) apresenta um modelo de análise de custo benefício no desenvolvimento de um projeto para reciclagem. O método de reciclagem apresentado nesse trabalho analisa primeiramente o balanço entre o custo do processo de reciclagem (desmontagem, esmigalhamento, etc.) e os benefícios (rendimentos da reciclagem). Através dessa etapa inicial, o método serve como uma ferramenta de análise, que pode ser usada para avaliar várias opções de projeto.

Na figura 3, é mostrado uma metodologia de análise de reciclagem que integra mudanças de projeto e análise de custo benefício. Nesse fluxograma, as opções de projeto são baseadas em necessidades de engenharia e são determinadas num modelo de custo. Várias malhas de realimentação são sugeridas como meios de mudanças de projeto e refinamentos que se destinam a melhorar a reciclabilidade.

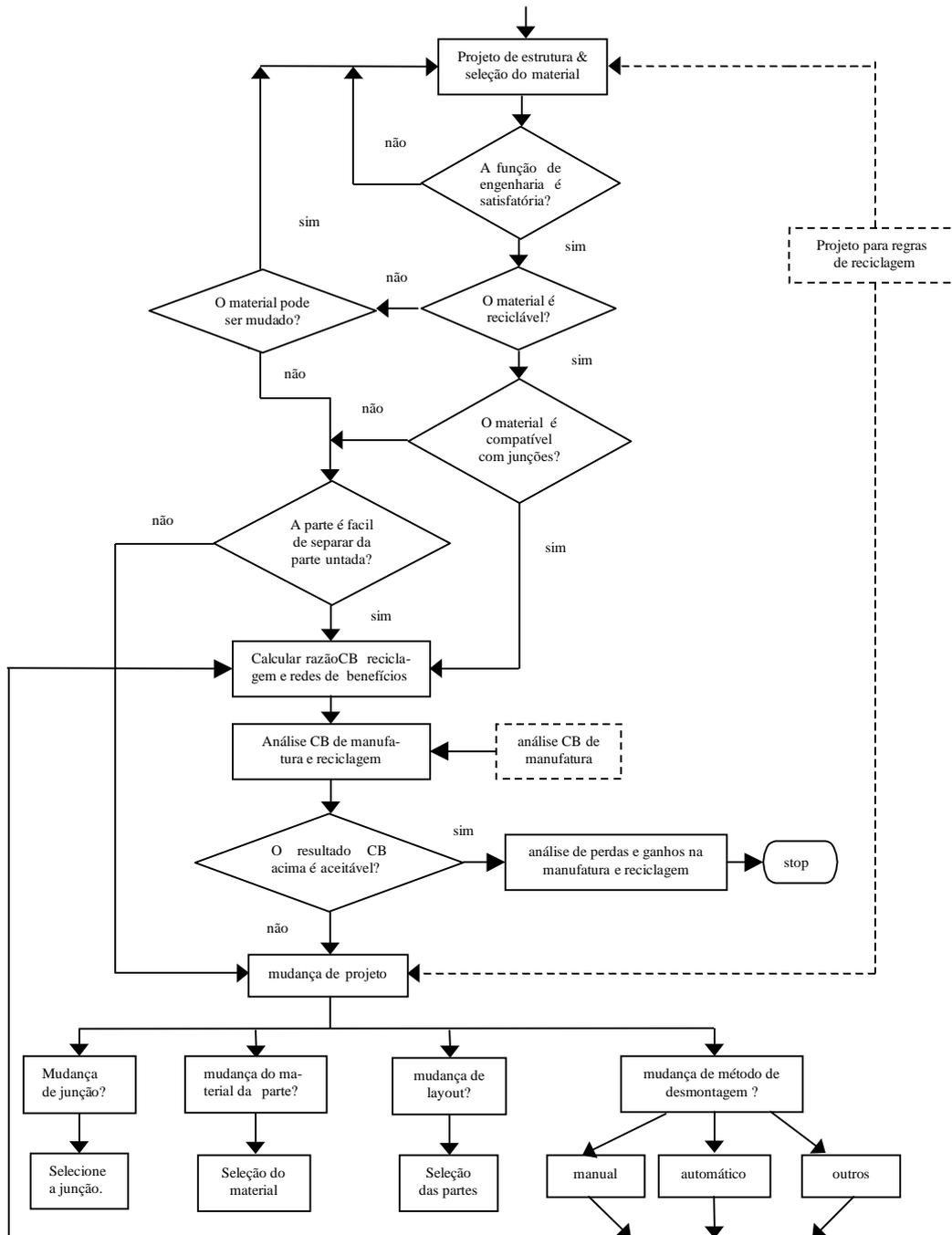


Figura 3: Fluxograma de Análise do Design for Recycling

O modelo de análise de custo benefício da reciclagem é definido através das equações:

Razão de custo benefício de reciclagem:

$$Rb/c = \frac{Rp + Rm + Er}{Cd + Cs + Cr + Dc}$$

(2)

Rede de benefício da reciclagem:

$$Rb-c = (Rp + Rm + Er) - (Cd + Cs + Cr + Dc)$$

(3)

onde:

Rp = rendimento das partes usadas

Rm = rendimento de materiais recuperados

Er = benefício de redução de emissão de economia de energia

Cd = custo de desmontagem

Cs = custo de esmigalhamento

Cr = custo de recuperação do material

Dc = custo de depósito

As fórmulas acima foram modeladas por Morgan & Henrion (1990).

5. Conclusão

Foi apresentada nesse trabalho a proposta de um programa de reciclagem a ser usado na fase conceitual de desenvolvimento de produto. A reciclagem de um produto será economicamente viável e tecnicamente possível se essa preocupação fizer parte do conjunto de análises de viabilidade do produto, ainda na sua fase de projeto preliminar. Desta forma, o programa proposto nesse trabalho insere-se dentro do contexto de Engenharia Simultânea. Embora a implementação computacional do programa esteja ainda em desenvolvimento, já está definido os seus componentes principais: as diretrizes BMW, o Projeto para Desmontagem e a Análise de Custo-Benefício. Espera-se obter num futuro próximo um estudo de caso industrial onde os conceitos aqui apresentados possam ser testados e avaliados.

REFERÊNCIAS

- Boothroyd Dewhurst, 1996. Design for Environment (DFE) software development.
- Boothroyd, G. ; Dewhurst, P, 1983 “Design for Assembly: selecting the right method”, Machine Design, 10 Nov. pg 94-99
- Dowie, T.; Simon,M ; Foggt, B.,1995, Product disassembly costing in a life-cycle context, Proceedings of International Conference on Clean Electronics Products and Technology , Edinburg, UK, pg 202-207.
- Franze, H.A. ,1997, Design for environmental compatibility of automobiles, International Conference on engineering design, pg 23-34.
- Morgan,M. Granger ; Henrion, Max, “Uncertainty, A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis” , Cambridge University Press, 1990
- Rosy Wei Chen; Navin-Chandra, D. ; Print, F.B.,1994 , A cost-benefit analysis model of product design for recyclability and its application , Components, Packaging, and Manufacturing Technology, Part A, IEEE Transactions on, USA, pg 502-507.

Abstract. *This work presents the prototype of computational tool, which aims to provide product designers with the necessary information to evaluate the best product configuration as far as recycling is concerned. This sort of evaluation must be conducted in the conceptual phase of the product development process to get major effects and benefits. Therefore, the proposed program fits well with the Simultaneous Engineering or Product Integrated Development.*

The implementation of the guidelines and recycling rules were based on a recycling standard of the Association of German Engineers (VDI 1993), that has been used successfully for five years by BMW. The potential recycling part is evaluated in accordance with the suitability for recycling index. That is calculated through several criteria such as: material importance, assembly technology and geometrical features of the parts. The computational prototype still

under development and that will be written in a VisualBasic[®] language and presented as a friendly interface for the user at Windows[®] platform.

Keywords: Design for recycling, Design for disassembly, Simultaneous Engineering