

**OTÁVIO AUGUSTO PALLAMIN**

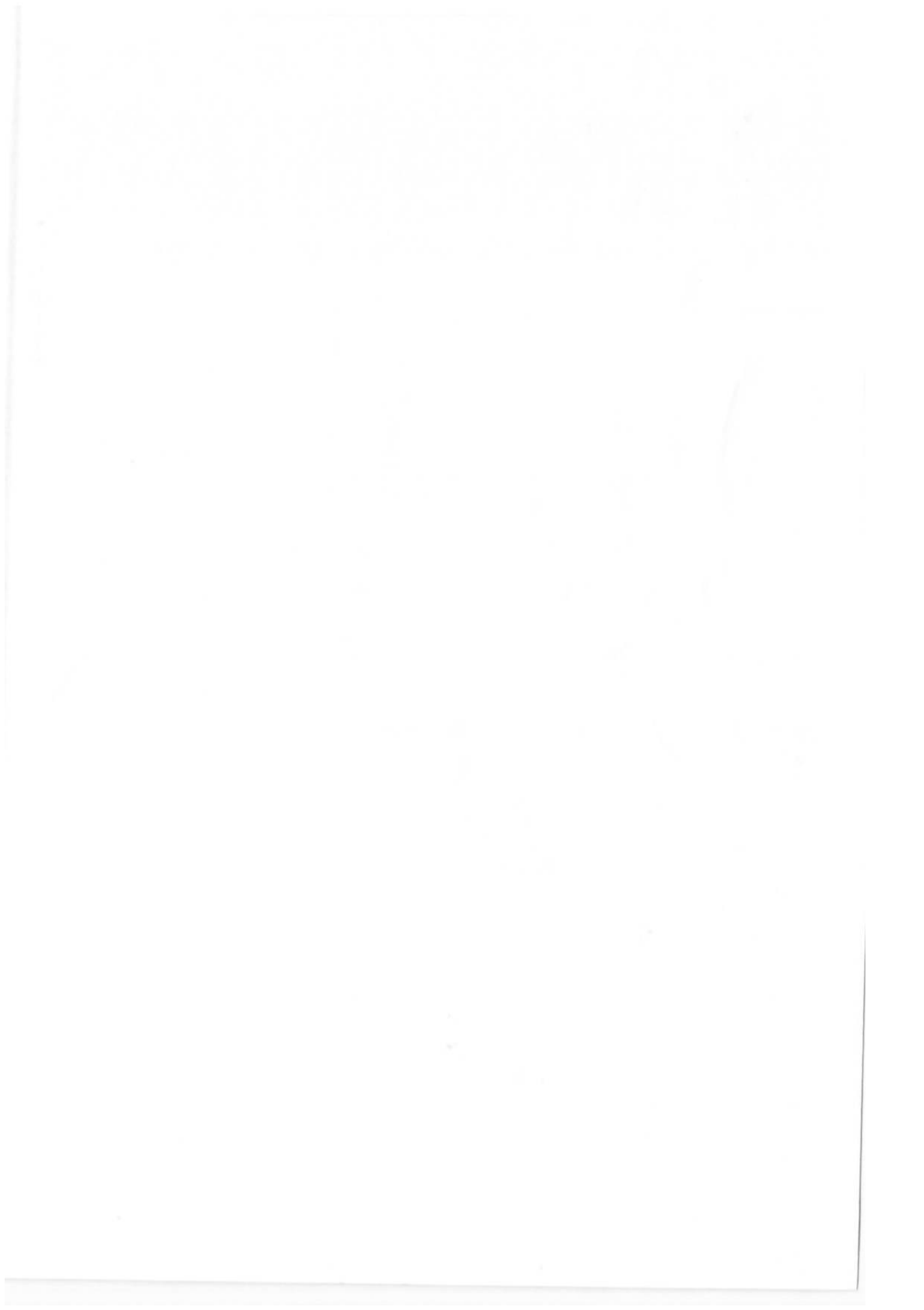
9,0 (nove)  
M. Pallamin  
Ronaldo B. Salvagni  
13/12/01

**RECICLAGEM NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA:  
ESTUDO DO REAPROVEITAMENTO DE  
PÁRA-CHOQUES DE PLÁSTICO**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica da  
Universidade de São Paulo para a graduação  
no curso de Engenharia Mecânica

Orientador:  
Prof. Dr. Ronaldo de Breyne Salvagni

São Paulo  
2001



# Índice

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Estabelecimento da Necessidade.....</b>	<b>3</b>
Lei sobre a Reciclabilidade dos Automóveis na Europa .....	3
Preocupação com o Meio Ambiente .....	4
Questões Sociais.....	5
Questões Econômicas .....	5
<b>3. Estudo sobre Plásticos .....</b>	<b>7</b>
Alternativas de Reaproveitamento dos Plásticos .....	9
<b>4. Situação Atual .....</b>	<b>12</b>
Componentes de um Pára-Choque .....	12
Materiais Utilizados na Fabricação de Pára-Choques de Plástico .....	12
Destinação de Pára-Choques de Plástico Pós-Consumo no Brasil.....	14
<b>5. Estudo de Viabilidade.....</b>	<b>17</b>
Especificações Técnicas .....	17
Problemas na Reciclagem de Plásticos .....	18
Análise de Alternativas de Reaproveitamento .....	18
<b>6. Tecnologias de Reciclagem de Pára-Choques de Plástico.....</b>	<b>23</b>
Pára-Choques Pintados – Um Desafio Tecnológico .....	23
Novos Materiais e Tecnologia de Fabricação para Reciclagem .....	24
<b>7. Ciclo de Produção de um Pára-Choque.....</b>	<b>26</b>
Análise do Ciclo de Vida (LCA) de um Pára-Choque de Plástico.....	27
<b>8. Projeto de um Pára-Choque Visando a Reciclabilidade .....</b>	<b>29</b>
O Pára-Choque de Plástico .....	29
Seleção de Materiais.....	30
Conectores .....	32
Projeto do Produto.....	32
Síntese das Soluções.....	33
<b>9. Conclusão.....</b>	<b>37</b>
<b>10. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>38</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Degradação do meio ambiente causada pelo despejo de veículos fora de uso.....	05
Figura 4.1 – Suporte para pára-choque do automóvel Peugeot 806.....	13
Figura 4.2 – Pára-choque de Audi S4 feitos em ABS+PA para resistir a temperaturas elevadas dos motores de alta potência.....	14
Figura 4.3 – Fluxo de mercado da destinação dos pára-choques de plástico.....	16
Figura 5.1 – Possibilidade de reciclagem em cascata de pára-choques.....	21
Figura 7.1 – Árvore de processo de um pára-choque de plástico.....	28
Figura 8.1 – Esquema de um pára-choque de carro popular.....	36
Figura 8.2 – Esquema de um pára-choque de automóvel de luxo.....	36

## LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Especificações técnicas de um material polimérico (PP+EPDM) para fabricação de pára-choques.....	17
Tabela 8.1 – Matriz de decisão para seleção da melhor solução de materiais para pára-choque.....	34

## Resumo

A crescente preocupação com o meio ambiente exige que as empresas passem a adotar atitudes de preservação ambiental. Por meio da pressão do mercado consumidor e de legislações ambientais cada vez mais rígidas, a indústria automobilística precisa planejar o seu produto de forma a minimizar as agressões ao meio ambiente. Assim além de haver um planejamento ambiental na produção e no uso do produto, tornou-se necessária uma preocupação também com o descarte seguro que engloba a reciclagem, reutilização ou mesmo a disposição sem que contamine o solo.

Neste trabalho será realizado um estudo que analisará as alternativas de reaproveitamento de pára-choques de plástico em automóveis. Os pára-choques têm a função de absorver pequenos choques e servir como absorvedor de energia em maiores colisões. Ao utilizar o plástico como principal matéria-prima dos pára-choques, um grande problema ambiental está sendo gerado. Apesar do plástico ser um material relativamente fácil de ser reciclado, ainda não é feito em grande escala principalmente pela dificuldade de separação dos diversos tipos existentes em um automóvel além da questão da qualidade da matéria-prima reciclada.

Ainda será feito um estudo de caso onde um pára-choque será projetado visando a reciclabilidade, ou seja, facilitar a desmontagem da peça do veículo além da reutilização da matéria-prima.

## **Abstract**

Due to the growing concern with the environment demands, industries started to adopt environmental preservation attitudes. Through the pressure of the consuming market and of more and more rigid environmental legislations, the automobile industry needs to plan its products in order to minimize the aggressions to the environment. Besides the environmental planning in the production and in the use of the product, it became also necessary a concern with the safe discard that includes the recycling, reutilization or even the disposition without soil contamination.

In this work it will be accomplished a study that will analyze the alternatives of reutilization of plastic bumpers in automobiles. The bumpers have the function of absorbing small shocks and to serve as energy absorber in larger collisions. When using the plastic as main raw material of the bumpers, a great environmental problem is being generated. In spite of the plastic is a relatively easy material to be recycled, it is not done yet mainly in great scale by the difficulty of separation of the several existent types in an automobile besides the subject of the quality of the recycled raw material.

It will still be made a case study where a bumper will be projected seeking the recyclability, in other words, to facilitate the dismantling of the piece of the vehicle besides the reutilization of the raw material.

## 1. Introdução

Apresento o Trabalho de Formatura para a conclusão do curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo do aluno Otávio Augusto Pallamin sob a orientação do professor Dr. Ronaldo de Breyne Salvagni.

Devido a pressão do mercado consumidor e de legislações ambientais cada vez mais rígidas, a indústria automobilística precisa adotar uma série de atitudes de preservação ambiental.

A relação de um produto com o meio ambiente se dá na fabricação, utilização e disposição (após a vida útil). Atualmente as indústrias focam a questão da fabricação (materiais, processos não agressivos ao meio ambiente) e na utilização (baixa emissão de poluentes, menor consumo de combustível). A disposição após a vida útil engloba a reciclagem (utiliza-se o material para fabricar o mesmo produto), reutilização (utiliza-se o material para outros fins ou produtos) ou descarte seguro (devolver à natureza sem impacto ao meio ambiente).

Este trabalho pretende focalizar a disposição após a vida útil de um determinado componente do automóvel: os pára-choques de plástico. O uso crescente de materiais plásticos na construção de componentes automotivos é consequência das características inerentes ao material tais como: resistência à corrosão, durabilidade, dureza, baixo peso específico, facilidade de coloração e acabamento. No entanto o uso intensivo de plásticos gera um problema ambiental pois apesar do material ser na maioria das vezes reciclável, ainda não é reutilizado em grande escala. Principalmente pela dificuldade de separação dos diversos tipos existentes em um automóvel além da questão da qualidade da matéria-prima reciclada.

Assim na primeira parte do Trabalho de Formatura serão apresentados um pequeno estudo sobre plásticos, a necessidade de reciclagem devido aos impactos no meio ambiente, a



situação atual e um estudo de viabilidade levando em conta as alternativas de reaproveitamento.

Na segunda parte do trabalho será realizado um estudo de caso onde um pára-choque será projetado visando o ciclo de vida completo do produto. Assim serão previstos na fase de disposição após a vida útil quais os requisitos necessários e restritivos que atendam a reciclagem ou descarte seguro sob o ponto de vista ambiental, técnico e econômico.

## 2. Estabelecimento da Necessidade

Ao longo do tempo a indústria automobilística vêm desenvolvendo ou absorvendo tecnologia com a finalidade de melhorar os seus produtos para o mercado consumidor. Entretanto somente nos últimos anos tem havido a preocupação em relação ao impacto no meio ambiente de todo o ciclo de vida do automóvel, desde sua fabricação, utilização e mais recentemente o descarte apropriado.

O descarte de veículos usados (end-of-life) está se tornando um problema principalmente nos países desenvolvidos. Em geral algumas peças são recicladas ou reaproveitadas mas em muitos casos isto não é realizado porque o seu projeto torna o processo técnica ou economicamente inviável. Assim é de fundamental importância que desde o projeto, haja um esforço no sentido de desenvolver automóveis que sejam recicláveis e ecologicamente corretos.

### *Lei sobre a Reciclabilidade dos Automóveis na Europa*

Na Europa existe uma legislação que prevê índices de reciclagem de veículos novos. A partir de 2007 as montadoras são obrigadas a produzirem automóveis que sejam pelo menos 85% recicláveis em peso. A partir de 2015 a porcentagem aumentará para 95%. Esta medida causa certa polêmica pois prevê que se as montadoras não a obedecerem, terão que receber estes veículos de volta (sem a cobrança de taxas de despejo) e que serão as responsáveis pela reciclagem destes veículos. Isto poderia gerar aumento de custos das montadoras, o que causaria aumento de preço dos veículos.

## *Preocupação com o Meio Ambiente*

### Degradação do Meio Ambiente

O meio ambiente passou a ser uma preocupação relativamente recente no processo de industrialização. Antes a natureza era um mero coadjuvante a serviço da indústria e da tecnologia. Com isto veio a degradação na forma de poluição ambiental generalizada e de certa forma trouxe certos impedimentos ao crescimento. Os grandes centros urbanos sofrem com a falta de espaço, sérias dificuldades de locomoção devido ao trânsito, problemas de abastecimentos de energia, água, etc. Daí a necessidade de promover o desenvolvimento onde haja a preocupação com a preservação ou ao menos redução no impacto ao meio ambiente.

Algumas montadoras têm mostrado preocupação com o meio ambiente. Muitas publicam relatórios periódicos chamados Environmental Reports que resumem as ações relativas ao meio ambiente. Em algumas existe a preocupação com o descarte de automóveis fora de uso e aos poucos vão sendo mostradas soluções para o problema.

Com a reciclagem resolvem-se os seguintes problemas: não haveria necessidade de espaços para armazenar veículos descartados pois estes seriam totalmente reaproveitados, não haveria a poluição do solo e da água nos locais onde os veículos seriam abandonados e o principal que é a economia dos recursos naturais finitos que são explorados na obtenção de matéria-prima.



Figura 2.1 – Degradação do meio ambiente causada pelo despejo de veículos fora de uso.

### *Questões Sociais*

Principalmente nos países em desenvolvimento onde os custos da mão de obra é relativamente baixo, a criação de centros de reciclagem proporciona grande geração de empregos em atividades que vão desde a desmontagem de veículos e a separação das peças a serem encaminhadas para reciclagem.

### *Questões Econômicas*

A comunidade, seja ela como mercado consumidor ou através de suas instituições tornou-se muito sensível à questão ambiental. Um produto pode tornar-se inviável economicamente pela rejeição do público dependendo do seu impacto no meio ambiente. Da mesma forma um produto pode ter como diferencial o pouco impacto que causa ao meio ambiente. Na verdade o meio ambiente tornou-se uma vantagem competitiva no mercado e

muitas empresas tem buscado este diferencial em seus produtos. Uma consequência da reutilização ou reciclagem de materiais é o ganho econômico trazido pela economia em relação a matérias-primas virgens.

### 3. Estudo sobre Plásticos

A origem da palavra plástico vem do grego *plastikós*, que significa: adequado à moldagem. Plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas polímeros que, por sua vez, são formados por moléculas menores chamadas de monômeros. Os plásticos são produzidos através de um processo químico chamado de polimerização, que proporciona a união química de monômeros para formar polímeros.

Os polímeros podem ser naturais ou sintéticos. Os naturais tais como: algodão, madeira, cabelos, chifre de boi, látex entre outros, são comuns em plantas e animais. Os sintéticos, tais como os plásticos, são obtidos pelo homem através de reações químicas.

O tamanho e estrutura da molécula do polímero determinam as propriedades do material plástico. A matéria-prima dos plásticos é o petróleo. Na realidade, o petróleo é formado por uma complexa mistura de compostos.

Pelo fato destes compostos possuírem diferentes temperaturas de ebulição, é possível separá-los através de um processo conhecido como destilação ou craqueamento.

Os polímeros podem ser classificados em:

**Termoplásticos** - são plásticos que não sofrem alterações na sua estrutura química durante o aquecimento e que após o resfriamento podem ser novamente fundidos. Exemplos: polipropileno - PP, polietileno de alta densidade - PEAD, polietileno de baixa densidade PEBD, polietileno tereftalato - PET, poliestireno - PS, policloreto de vinila - PVC, etc.

**Termofixos** - são aqueles que não fundem com o aquecimento. Exemplos: resinas fenólicas, epoxi, poliuretanos, etc.

Na preparação de uma mistura moldável de plástico, além das resinas plásticas, podem ser utilizados aditivos tais como: plastificantes, cargas, corantes e pigmentos,

estabilizantes, modificadores de impacto e lubrificantes. Após o processo de produção, os plásticos que são gerados em forma de grãos são enviados para as indústrias transformadoras, que irão transformar a resina em produtos através dos seguintes processos:

**Extrusão:** Uma extrusora consiste essencialmente de um cilindro em cujo interior gira um parafuso de Arquimedes (rosca sem-fim), que promove o transporte do material plástico. Este é progressivamente aquecido, plastificado e comprimido, sendo forçado através do orifício de uma matriz montada no cabeçote existente na extremidade do cilindro. O aquecimento é promovido ao longo do cilindro e no cabeçote, geralmente por resistências elétricas, vapor ou óleo. O material assim amolecido e conformado é submetido a um resfriamento. Desta forma, o processo de extrusão pode ser utilizado para obtenção de filmes de PEBD, para uso como saco plástico, ou tubos de PVC ou PE.

**Sopro:** A moldagem por sopro permite a confecção de peças ocas como bolsas, frascos ou garrafas. O processo consiste na expansão de um tubo pré-conformado sobre a ação de aquecimento e ar comprimido no interior de um molde bipartido. Em contato com o molde, o material resfria e endurece, permitindo a abertura e a retirada do artefato. Pode-se observar no frasco plástico uma linha contínua que percorre toda a embalagem, resultante desse tipo de moldagem.

**Injeção:** A moldagem por injeção é o processo que permite a confecção de utensílios plásticos em geral - bacias, tampas, caixas, pára-choques, calotas, etc. Consiste na introdução do plástico em um molde fechado e frio ou pouco aquecido, por intermédio de pressão fornecida por um êmbolo. O material preenche as cavidades do molde e o artefato é posteriormente extraído. Em geral, pode-se observar na base da peça plástica uma "cicatriz", que é o ponto de injeção do material plástico dentro do molde.

## *Alternativas de Reaproveitamento dos Plásticos*

Existem basicamente três tipos de reciclagem ou reutilização possíveis para os materiais plásticos:

A **Reciclagem Química** reprocessa plásticos transformando-os em petroquímicos básicos: monômeros ou misturas de hidrocarbonetos que servem como matéria-prima em refinarias ou centrais petroquímicas, para a obtenção de produtos nobres de elevada qualidade. O objetivo é a recuperação dos componentes químicos individuais para reutilizá-los como produtos químicos ou para a produção de novos plásticos. Permite tratar mistura de plásticos, reduzindo custos de pré-tratamento, custos de coleta e seleção. Além disso, a reciclagem química permite produzir plásticos novos com a mesma qualidade de um polímero original.

Existem vários processos de reciclagem química, entre eles:

*Hidrogenação:* As cadeias são quebradas mediante o tratamento com hidrogênio e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias;

*Gaseificação:* Os plásticos são aquecidos com ar ou oxigênio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio;

*Quimólise:* Consiste na quebra parcial ou total dos plásticos em monômeros na presença de Glicol/Metanol e Água.

*Pirólise:* É a quebra das moléculas pela ação do calor na ausência de oxigênio. Este processo gera frações de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinarias.

A **Reutilização Energética** é a recuperação da energia contida nos plásticos através de processos térmicos. A reutilização energética distingue-se da incineração por utilizar os resíduos plásticos como combustível na geração de energia elétrica. Já a simples incineração



não reaproveita a energia dos materiais. A energia contida em 1 kg de plásticos é equivalente à contida em 1 (um) kg de óleo combustível. Cerca de 15% da reciclagem de plásticos na Europa Ocidental é realizada via reutilização energética.

A **Reciclagem ou Reutilização Mecânica** consiste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos como: sacos de lixo, solados, pisos, conduítes, mangueiras, componentes de automóveis, fibras, embalagens não-alimentícias e outros.

*Observação:* os descartes plásticos podem ser classificados em: Pós-industriais os quais provêm principalmente de refugos de processos de produção e transformação, aparas, rebarbas, etc. Pós-consumo: Após descartados pelos consumidores, sendo a maioria provenientes de embalagens.

Essa reciclagem possibilita a obtenção de produtos a partir de misturas de diferentes plásticos em determinadas proporções, ou produtos compostos por um único tipo de plástico. Estima-se que no Brasil sejam reciclados mecanicamente 15% dos resíduos plásticos pós-consumo.

O processo básico é formado pelas seguintes etapas:

**Separação:** consiste na separação em uma esteira dos diferentes tipos de plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual. Nesta etapa são separados também rótulos de materiais diferentes, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, embalagens metalizadas, grampos, etc. Por ser uma etapa geralmente manual, a

eficiência depende diretamente da prática das pessoas que executam esta tarefa. Outro fator determinante da qualidade é a fonte do material a ser separado, sendo que aquele oriundo da coleta seletiva é mais limpo em relação ao material proveniente dos lixões ou aterros;

**Moagem:** Após separados os diferentes tipos de plásticos, estes são moídos e fragmentados em pequenas partes;

**Lavagem:** Após triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes. É necessário que a água de lavagem receba um tratamento para a sua reutilização ou emissão como efluente;

**Aglutinação:** Além de completar a secagem, o material é compactado, reduzindo-se assim o volume que será enviado à extrusora. O atrito dos fragmentos contra a parede do equipamento rotativo provoca elevação da temperatura, levando à formação de uma massa plástica. O aglutinador também é utilizado para incorporação de aditivos - como cargas, pigmentos e lubrificantes;

**Extrusão:** A extrusora funde e torna a massa plástica homogênea. Na saída da extrusora, encontra-se o cabeçote, do qual sai um fio contínuo do material, que é resfriado com água. Em seguida, o fio é picotado em um granulador e transformado em pellet (grãos plásticos);

## 4. Situação Atual

### *Componentes de um Pára-Choque*

A utilização de materiais plásticos na confecção de pára-choques consolidou-se na indústria automobilística principalmente pela maior resistência, facilidade de fabricação e menor custo quando comparados aos pára-choques de metal. Os pára-choques de plástico são geralmente divididos em duas partes: o revestimento externo (capa) em plástico preto ou pintado na cor do veículo e a parte interna que pode ser metálica, plástica (termoplásticos, espumas de poliuretano, isopor). A parte interna tem a função de absorver pequenos impactos sem que haja danos à capa. O revestimento externo ainda pode comportar grades de ventilação (pára-choque dianteiro), suporte para lanternas, etc.

### *Materiais Utilizados na Fabricação de Pára-Choques de Plástico*

O polipropileno (PP) é o material mais difundido na fabricação de pára-choques. Para que tenha maior resistência ao impacto a baixas temperaturas é adicionado o EPDM (Copolí etileno-propileno-dieno) em pequenas proporções. Há ainda a adição de talco (carga), estabilizantes térmico e contra raios UV. Praticamente todos os automóveis fabricados no Brasil utilizam esta mistura na fabricação de pára-choques.

A fibra de vidro é um material utilizado para capas de pára-choque. Em alguns automóveis tem-se uma capa de fibra de vidro como revestimento externo com um enchimento de espuma de poliuretano.

Outro material também difundido é uma mistura de PP reforçado com manta de fibra de vidro (GMT – glass mat reinforced thermoplastics). Este material é utilizado principalmente na parte interna do pára-choque como reforço em substituição ao metal. Um estudo de caso utilizando um suporte de pára-choques de um Peugeot 806 com este novo

material promoveu uma redução de peso de 2kg no sistema global de pára-choques em relação ao original (de metal).

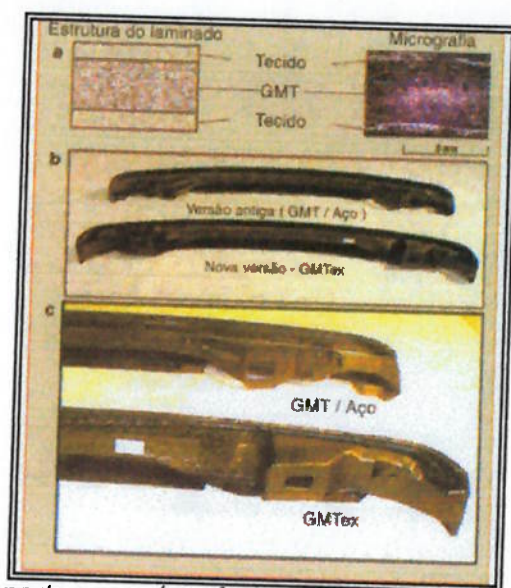


Fig.4.1 - Suporte para pára-choque do automóvel Peugeot 806

- a) Estrutura do laminado e micrografia do GMT
- b) Comparação entre absorvedores de impacto em aço e a feita com GMT
- c) Detalhe das peças mostradas em b)

Uma mistura de ABS (Copolí acrilonitrila-butadieno-estireno) com PA (Poliamidas aromáticas) especialmente desenvolvidas para uso em pára-choques atendem aos requisitos de boa resistência ao impacto sob baixas temperaturas com a capacidade de receber pintura. As vantagens em relação ao PP+EPDM estão na sua maior estabilidade térmica e na possibilidade de serem pintadas sem um pré-tratamento. São utilizadas em veículos com motores de alta potência pois as elevadas temperaturas de funcionamento não são compatíveis com as formulações de PP existentes.



Fig 4.2 - Pára-choque de Audi S4 feitos em ABS+PA para resistir a temperaturas elevadas dos motores de alta potência

Outra mistura utilizada é PPO+PA (PPO: poli óxido de fenileno e PA: poliamida) que também apresenta boa resistência ao impacto sob baixas temperaturas, boa moldabilidade, estabilidade dimensional e também não necessita receber pré-tratamento para pintura.

### *Destinação de Pára-Choques de Plástico Pós-Consumo no Brasil*

Para identificar e analisar como estudar a melhor forma de reaproveitamento de pára-choques de plástico, foi realizada uma pesquisa que procurou traçar os possíveis caminhos percorridos por esta peça desde sua fabricação, utilização e descarte. Foram entrevistados gerentes de concessionárias, oficinas mecânicas independentes, proprietários de desmanches, coletores de sucata da região de São Paulo.

Um pára-choque é injetado e colocado em um automóvel. O descarte acontece geralmente devido a reposição causada por acidente ou então quando o veículo é descartado.

Se o veículo possui seguro a peça passa a ser propriedade da seguradora que a revende para grande coletores autônomos de sucata. Estes coletores separam as peças em melhores condições para serem revendidas a comerciantes de peças usadas que as disponibilizam ao consumidor a preços pelo menos 50% abaixo de uma peça nova. As peças com pequeno grau

de avaria são repassadas a recuperadores que realizam pequenos consertos até que se tornem novamente utilizáveis. Também neste caso, o preço praticado é pelo menos 50% inferior ao de uma peça nova. As peças sem recuperação são então separadas e repassadas a empresas recicladoras que pagam preços irrisórios se comparados ao lucro obtido com a peça reaproveitada.

Quando o veículo não está segurado o caminho difere um pouco do anterior mas o procedimento basicamente passa pela coleta, separação de peças “boas”, separação de peças “aproveitáveis” e finalmente venda de peças para empresas de reciclagem. Deve-se ressaltar o caráter informal desta coleta já que praticamente inexistem empresas especializadas na coleta específica de plásticos. Os coletores autônomos (sucateiros), catadores de rua e lixeiros são os responsáveis pela captação e distribuição de praticamente todo o material plástico pós-consumo na região da Grande São Paulo.

No caso da venda do material para reciclagem ainda há o empecilho da qualidade do material utilizado na confecção do pára-choque. Em algumas montadoras são utilizados materiais não recicláveis (misturas de polímeros com elastômeros, fibras de vidro) cujo destino final é o descarte no meio ambiente.

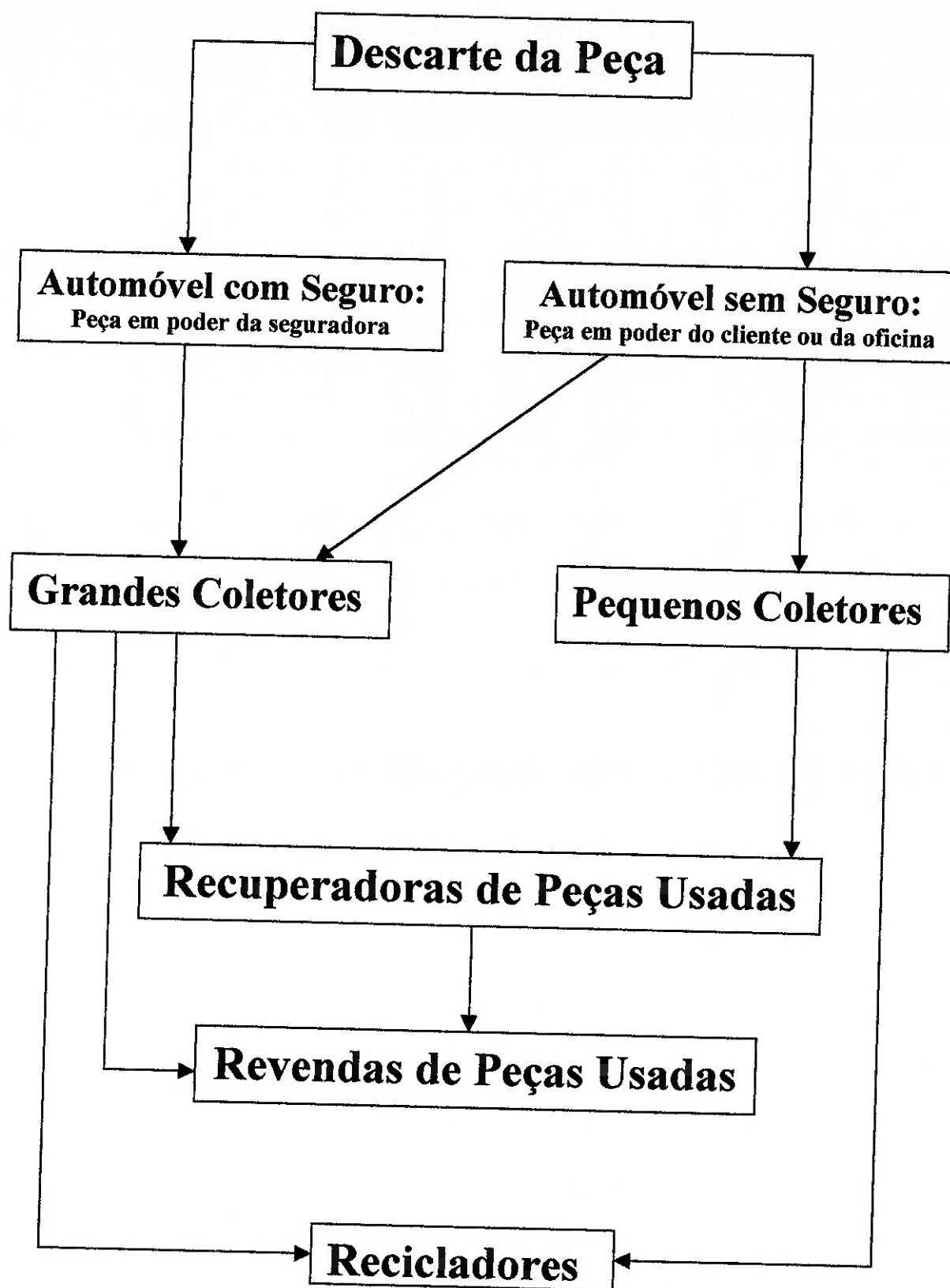


Fig. 4.3 - Fluxo de Mercado da Destinação dos Pára-choques de Plástico

## 5. Estudo de Viabilidade

### *Especificações Técnicas*

O material a ser utilizado na confecção de pára-choques deve obedecer uma série de especificações técnicas. Estas especificações estão relacionadas a fabricação e também as características dimensionais dos pára-choques atuais que estão cada vez mais integrados à carroceria, pintados na cor do veículo e com faixas de tolerância de ajuste à carroceria cada vez menores. Como resultado o material deve apresentar baixo coeficiente de dilatação térmica, resistir a impactos em baixas temperaturas, poder receber pintura a ser resistente às intempéries (principalmente raios UV).

A seguir uma tabela com as principais especificações técnicas de um material com a referência dos métodos e procedimentos utilizados (normas ISO).

**Material: PP+EPDM com 11% de talco (mineral)**

**Fabricante Hoechst High Chem**

Propriedade	Unidade	Proced. de Teste	Valor
Densidade a +23°C	g/cm <sup>3</sup>	ISO 1183	0,97
Índice de Fluidez (MVR 230/2,16)	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133	9,5
Índice de Fluidez (MFR 230/2,16)	g/10min	ISO 1133	8
Tensão de Tração de Escoamento (50mm/min)	MPa	ISO 527	16
Alongamento no Escoamento (50mm/min)	%	ISO 527	5
Alongamento na Ruptura (50mm/min)	%	ISO 527	90
Módulo de Tração	MPa	ISO 178	1100
Dureza Shore D		ISO 868	54-57
Resistência ao Impacto Charpy entalhado a -30°C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA	9
Resistência ao Impacto Charpy entalhado a 0°C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA	50
Resistência ao Impacto Charpy entalhado a +23°C	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA	70
Encolhimento no Molde	%		0,9
Coeficiente de Dilatação Linear (23 – 85°C)	1/K	DIN 53 752	60.10 <sup>-6</sup>
Teor de Carga	%	ISO 3451	10-13

Tabela 5.1- Especificações Técnicas de um Material Polimérico (PP+EPDM) para Fabricação de Pára-choques



### *Problemas na Reciclagem de Plásticos*

O plástico constitui um problema importante em seu descarte pois é muito volumoso, não biodegradável e sofre um decaimento de suas propriedades químicas e mecânicas durante a sua utilização. A vida média de um automóvel é de cerca de 12 anos. Durante este período os plásticos sofrem agressões do meio ambiente, através de luz, calor, umidade o que faz com que o material deixe de atender às especificações técnicas necessárias para reciclagem.

Além do material não atender aos requisitos, a dificuldade em reciclar plásticos dos automóveis inicia-se na desmontagem dos componentes, classificação dos tipos e impurezas impregnadas nas peças. Assim é interessante focar o estudo em grandes peças plásticas como o pára-choque que tornam o esforço de reaproveitamento mais efetivo.

Outro problema do reaproveitamento de plásticos é a presença de contaminantes, principalmente da tinta utilizada na pintura de pára-choques. Um estudo realizado por [6] em pára-choques feitos em PP pintados demonstrou que é necessária a remoção da tinta antes da reciclagem pois o material reciclado sem a retirada da tinta não apresenta qualidade satisfatória para sofrer nova pintura. A tecnologia de remoção da tinta apresenta eficiência máxima em torno de 90%, ou seja, o material ainda apresenta contaminação mesmo após passar por processo de limpeza. Esta impureza inviabiliza a reciclagem do material para injeção de novos pára-choques.

### *Análise de Alternativas de Reaproveitamento*

O gerenciamento dos resíduos plásticos é fortemente influenciado pela combinação de aspectos econômicos e de legislação. O método a ser escolhido para o processamento dos resíduos deve ser o menos oneroso economicamente e menos agressivo ao meio ambiente.

As alternativas propostas levam em consideração o mercado brasileiro onde praticamente todos os pára-choques são produzidos em PP (polipropileno). Devido as dificuldades apresentadas anteriormente foram elaboradas alternativas levando em conta aspectos econômicos e técnicos.

Aqui não será considerada a possibilidade de revenda do pára-choque usado como anteriormente explicado. Esta alternativa, apesar de ser a mais rentável economicamente, deve ser desconsiderada por motivos de segurança. Os pára-choques recuperados não são aconselhados pois não apresentam mais resistência mecânica adequada.

### **1ª Possibilidade – Reutilização Energética**

O material seria coletado para reutilização energética. Levando em consideração que o poder calorífico do PP é de 11.000 cal/g fez-se uma comparação com gás natural que é a principal alternativa atualmente para geração de energia no país.

Segundo levantamento realizado o custo do gás natural no Brasil não poderá ultrapassar US\$ 2,581 por 1 milhão de BTU [22]. Considerando o dólar a R\$ 2,40 calculou-se quantos R\$ são necessários para produzir 1 caloria. Assim para o gás natural obteve-se um valor de  $2,46 \cdot 10^{-8}$  R\$/cal.

Fazendo o mesmo raciocínio com o PP tem-se que o kg do PP comprado de coletores de sucata é de R\$ 0,25. Se 1 kg de PP gera 11.000.000 cal então obtém-se  $2,27 \cdot 10^{-8}$  R\$/cal. Com estes valores pode-se concluir que a reutilização energética do PP é uma alternativa a princípio viável.

No entanto este cálculo é apenas preliminar. Não foi levado em conta o custo da construção de uma usina termelétrica a gás natural comparada com uma termelétrica

movida a queima de PP. Também não foram considerados o custo de transporte do material até a usina.

Existem algumas vantagens tais como:

- A queima de PP reduz o problema de espaço para depositar as peças em aterros já que o plástico é volumoso;
- Geração de energia sem a dependência de importação de gás natural o que contribui para o equilíbrio da balança comercial.
- Não há necessidade de grandes cuidados na separação dos tipos de plástico em comparação com o reaproveitamento mecânico.

As desvantagens são:

- Grande controle da queima para evitar a poluição excessiva. O gás natural apresenta queima “limpa” enquanto que a queima do PP são necessários filtros e controle de poluição mais eficientes.
- Os plásticos em geral são materiais provenientes do petróleo que tem reservas finitas. A utilização deste material para geração de energia não é um fim considerado nobre já que existem inúmeras aplicações dos plásticos em diversas atividades.

## **2ª Possibilidade – Recuperação Energética**

Este conceito foi desenvolvido no Projeto F.A.RE. (Fiat Auto Recycling) e consiste na reciclagem em cascata onde o plástico é reutilizado em componentes menos solicitados em relação à sua aplicação original. Este conceito foi desenvolvido levando em consideração o fato que o material sofre degradação quando utilizado pois os pára-choques

ficam expostos ao ambiente. Assim um pára-choque pode ser transformado em dutos de ventilação. Estes dutos podem ser transformados em isolamento térmica e/ou acústica até que suas propriedades químicas e mecânicas não permitam mais a reciclagem. Daí o material seria encaminhado para aterros ou então para reaproveitamento energético (1ª possibilidade).

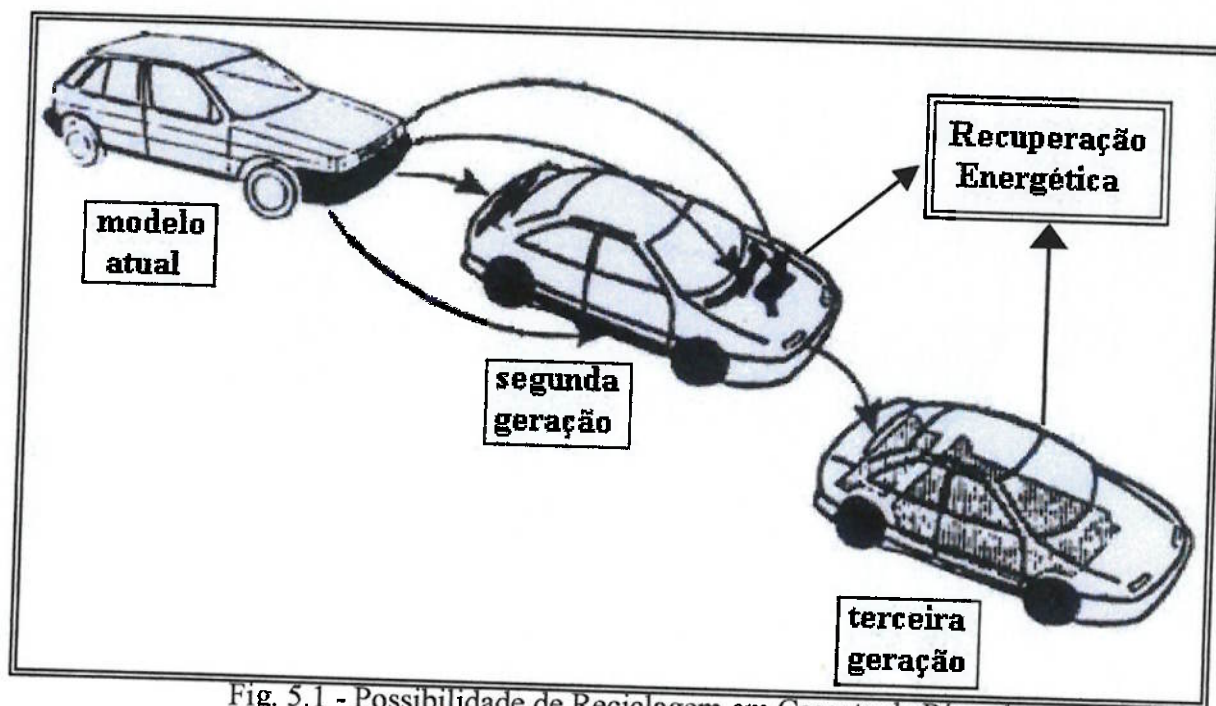


Fig. 5.1 - Possibilidade de Reciclagem em Cascata de Pára-choques

Para viabilização deste projeto deve ser equacionado o problema do equilíbrio da quantidade, ou seja, todos os materiais recuperados deverão encontrar um espaço aplicativo em quantidade equivalente a próxima geração de peça. Este equilíbrio é necessário sob pena de se gerar excesso de oferta de material o que inviabiliza qualquer projeto de reciclagem por baixar o preço da matéria-prima ao ponto do custo de reciclagem não ser coberto.

Outro fator a ser considerado é o custo da matéria-prima reaproveitada que deverá ao menos ser equivalente à matéria-prima virgem. Somente desta maneira haverá uma auto-sustentação e difusão da reciclagem.

O custo da reciclagem de um pára-choque envolve custo de desmontagem, transporte e da reciclagem mecânica. Segundo uma pesquisa realizada na Grande São Paulo [15] o preço

médio do PP reciclado é vendido a R\$ 0,85 o kg em pellets. Considerando que o valor médio pago aos coletores autônomos é de R\$ 0,25 o kg tem-se uma diferença de 240% que representa o custo da reciclagem mecânica mais o lucro das recicladoras já que a empresa recicladora não desmonta e nem transporta o produto.

De acordo com o número de empresas recicladoras na Grande São Paulo - 180 empresas em 1999 [15], verifica-se a viabilidade do empreendimento já que o custo de captação da matéria-prima é baixo devido a informalidade do setor.

No entanto há de se destacar as dificuldades enfrentadas pelas empresas recicladoras que estão diretamente relacionadas a captação de materiais para processar e compatibilizar a produção com a demanda do mercado para matérias-primas recicladas.

## 6. Tecnologias de Reciclagem de Pára-Choques de Plástico

### *Pára-Choques Pintados – Um Desafio Tecnológico*

O desenvolvimento de tecnologia de reciclagem de pára-choques está diretamente relacionado aos materiais utilizados na sua fabricação.

A partir do final da década de 80, os pára-choques de plástico passaram a ser pintados geralmente na cor da carroceria. Este requisito de projeto promoveu o aperfeiçoamento e desenvolvimento de novos materiais ao mesmo tempo que dificulta o processo de fabricação e também da reciclagem. Devido à diferenças substanciais das propriedades térmicas, a pintura de plásticos deve ser realizada separada da carroceria de aço. Além disso, os pára-choques injetados em PP apresentam dificuldades técnicas na pintura pois sua estrutura molecular dificulta a adesão da tinta. O processo de pintura de pára-choque envolve basicamente 4 fases que são:

- Lavagem para remoção de impurezas e secagem;
- Aplicação de primer e/ou flambagem – preparação da superfície. A flambagem consiste em passar uma chama na peça para que o material tenha uma rugosidade adequada à aderência da tinta.
- Aplicação de duas demãos de tinta. Secagem em estufa após a 2ª demão;
- Aplicação de duas demãos de verniz protetor e secagem em estufa após a 2ª demão.

Pode-se perceber que o processo de pintura é complexo e exige múltiplas fases e operações secundárias que apresentam custo elevado, exigem espaço e tempo de produção. Qualquer tentativa de se desenvolver materiais e processos que diminuam estas etapas será útil na medida em que reduz os custos de produção. Um outro motivador é a questão da reciclagem de componentes plásticos pintados.

Conforme discussão anterior, a reciclagem de peças plásticas pintadas ainda apresenta desvantagens pois o material, mesmo após a remoção da tinta, ainda apresenta certa quantidade de contaminantes. Estas impurezas, apesar de não comprometerem as características mecânicas do material reciclado em relação ao virgem, levam ao aparecimento de defeitos na superfície durante o processo de injeção. Estes defeitos comprometem o aspecto externo da peça (visual) além de dificultar o processo de adesão de uma nova pintura.

Montadoras e empresas de auto-peças tem desenvolvido técnicas de reaproveitamento de peças plásticas pintadas. Como exemplo a Nissan que desenvolveu um processo em que as peças são trituradas, passadas em um solvente para a seguir a tinta ser descascada – uma tecnologia semelhante ao processo de beneficiamento do arroz. Já a Subaru desenvolveu um processo em que as peças são trituradas e passadas em um conjunto de rolos que giram em alta velocidade. Ao passar pelos rolos, gera-se calor e a camada de tinta é descascada ficando colada nos rolos. Este processo, segundo a própria montadora remove 99% da tinta impregnada no plástico. No entanto os plásticos reciclados ainda não são utilizados em peças de acabamento externo.

### *Novos Materiais e Tecnologia de Fabricação para Reciclagem*

A cada dia novos materiais são desenvolvidos para atender às especificações de pára-choques de plástico. Cada material é desenvolvido de acordo com as especificações das montadoras e se aplicam em larga escala, o que viabiliza a fabricação com características específicas. Então, o esforço da maioria das montadoras e fabricantes de matérias-primas é viabilizar um material que apresente diversas características que atendam aos requisitos de projeto, simplifique os processos de produção e que possam ser reaproveitados. Como exemplo pode-se verificar em [23] onde um novo material para parte externa de pára-choques denominado PC/PBT (mistura de policarbonato / polibutileno tereftalato) apresenta vantagens

na fabricação, custo por peça e facilidade de reciclagem. Em [24] um outro material substituiu a parte interna dos pára-choques (absorvedor de energia). Ao invés de utilizar uma espuma de poliuretano – não reciclável – e espuma de polipropileno expandido foi verificada a viabilidade de se utilizar também o PC/PBT como absorvedor de energia. Assim, tanto a parte externa como a interna são feitas do mesmo material não sendo necessária a separação prévia das peças para realização da reciclagem.

Uma outra abordagem que na realidade deve ser complementar ao desenvolvimento de novos materiais é desenvolver durante o projeto do pára-choque como deverá ser sua desmontagem. Ao otimizar o processo de desmontagem de um pára-choque de um veículo ao final de sua vida útil, os custos do reaproveitamento tendem a cair fazendo o preço do material reciclado ser ainda mais competitivo.



## 7. Ciclo de Produção de um Pára-Choque

Ao realizar um projeto de um pára-choque, são analisados diversos fatores para sua fabricação. As etapas de projeto são as seguintes:

- *Descrição do Produto:* deverá conter um desenho e especificações técnicas a serem obedecidas tais como resistir a impactos em baixas velocidades, boa eficiência na absorção de energia, etc. Geralmente as especificações seguem normas estabelecidas pelo Governo ou mesmo pelas próprias montadoras;
- *Escolha do Processo de Fabricação:* o processo é consequência do desenho da peça. Pode ser Moldagem por Injeção, por Sopro ou por Compressão;
- *Seleção dos Materiais:* naturalmente é selecionada uma classe de materiais que deve ser utilizada para viabilizar o processo previamente escolhido. O material deve atender aos requisitos técnicos previamente estabelecidos;
- *Elaboração do Custo:* O custo é elaborado a partir do desenho, processo de fabricação e matéria-prima. Pode ser dividido em várias etapas e deve cobrir todos os custos de manufatura, materiais e desenvolvimento.
  - Custo da matéria-prima virgem.
  - Custo da Peça: é o custo da matéria-prima + custo da fabricação. O custo da fabricação envolve atividades diretamente ligadas ao processo tais como mão de obra direta, energia, tempo de produção.
  - Custo do Investimento: reflete o custo de desenvolvimento e fabricação das ferramentas de fabricação (moldes), materiais de manuseio e equipamentos.
  - Custo da Montagem: consequência direta do desenho da peça. A facilidade na montagem implica em menor tempo de montagem e pouca mão de obra para executá-la.

- Custos de Engenharia: Envolve desenho do produto, desenho das ferramentas, desenvolvimento de protótipos

Nota-se que ao elaborar os custos, não é levado em conta a questão ambiental. Assim em uma análise tradicional não há a preocupação com o descarte ou reciclabilidade do material. Torna-se necessária então uma nova ferramenta complementar que possa analisar as consequências para o meio ambiente desde a fabricação até o descarte seguro ou reciclagem.

Uma metodologia de análise do impacto no meio ambiente foi desenvolvida pela International Organization for Organization (ISO) sob a série 14000. De acordo com a ISO 14040 define-se Life Cycle Assesment (LCA) ou Análise do Ciclo de Vida como um método quantitativo de se avaliar o impacto no meio ambiente de um produto durante seu ciclo de vida completo. O objetivo final é descobrir materiais e processos que gerem menor quantidade de resíduos e poluentes também havendo a preocupação com a destino final do produto após a sua utilização.

### *Análise do Ciclo de Vida (LCA) de um Pára-Choque de Plástico*

Em [26] um LCA de um pára-choque de plástico foi realizado comparando-se dois materiais - PP e PU. A metodologia consiste em montar uma árvore de produção, consumo e descarte do produto. Esta árvore é composta das atividades necessárias para transformação da matéria-prima em peça, consumo e depois descarte. Em cada atividade são relacionados os impactos ao meio ambiente tais como: Aquecimento Global, Diminuição da Camada de Ozônio, Acidificação dos Solos, Toxicidade, etc. Cada impacto tem valores de referência normalizados e pesos para se calcular o impacto final de cada alternativa. Comparando-se aos valores de referência é possível analisar as melhores alternativas do ponto de vista ambiental para materiais, processos e descarte.

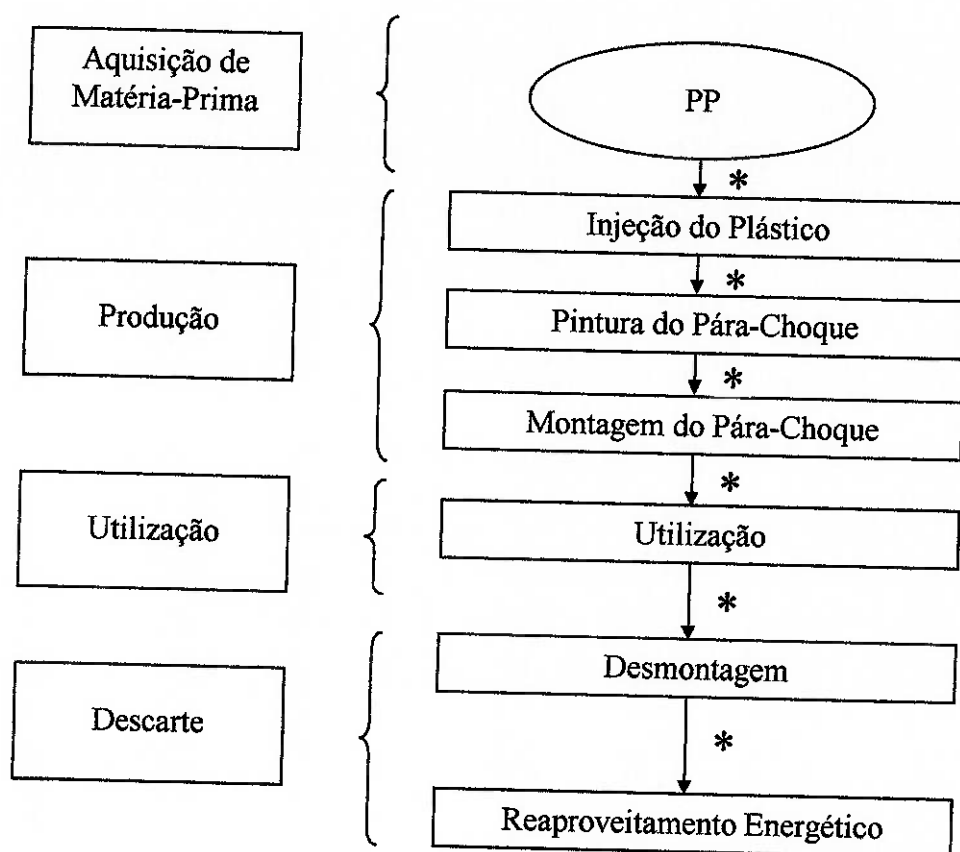


Fig. 7.1 - Árvore de Processo de um Pára-Choque de Plástico

Cada asterisco (\*) corresponde a um processo cujo impacto deve ser analisado. Esta árvore de processo é um resumo das atividades envolvidas porém cada uma deve ser desdobrada e analisada separadamente. Por exemplo em um processo de pintura devem aparecer todas as fases de pré-tratamento, pintura e acabamento já descritas anteriormente.

## 8. Projeto de um Pára-Choque Visando a Reciclabilidade

Para executar um projeto de um pára-choque será utilizada a metodologia de projeto DFD (Design for Disassembly) que é uma técnica utilizada atualmente para projeto de peças visando uma maior facilidade de desmontagem para reaproveitamento posterior. Em [4] um Guia para DFD foi proposto e será utilizado para executar o projeto do pára-choque.

Ao analisar um pára-choque desmontado verificou-se que dependendo do modelo do automóvel, existe uma certa quantidade de materiais misturados (plásticos diferentes, metais, tinta) além da falta de identificação do material utilizado.

### *O Pára-Choque de Plástico*

O projeto de pára-choques segue normas e legislações internacionais ou americanas tais como SAE J2319 que trata de procedimentos de teste de impacto em baixas velocidades; SAE J689 com práticas de desenho de projeto visando às dimensões externas (ângulo de ataque, altura mínima do solo, etc.) para evitar danos às peças em condições normais de uso; SAE J686 trata do estabelecimento de padrões dimensionais de placas de identificação; SAE J1573 é um guia para padronizar a recuperação ou reparo de peças plásticas; J2431 trata da relação entre os acessórios montados na frente do veículo e os sensores do Air-Bag. Além disso cada montadora desenvolve e pratica suas próprias normas, principalmente aquelas relacionadas às melhores práticas de fabricação e de montagem.

Um pára-choque típico é composto basicamente de duas partes: revestimento externo (capa) e parte interna (absorvedor de energia). A construção e materiais destas duas partes variam de acordo com os modelos de automóveis. Usualmente no revestimento externo é utilizado o PP+EPDM com aplicação de tinta para acabamento. O absorvedor de energia pode ser feito em espuma de poliuretano, polipropileno expandido ou então uma viga de aço

parafusada ou soldada diretamente na carroceria. As duas estruturas tem função de amortecer impactos em baixas velocidades sem provocar deformações na carroceria. O pára-choque é preso à carroceria por meio de parafusos auto atarrachantes ou rebites. Os componentes do revestimento externo (suportes para lanternas, grades frontais, borrachas de proteção) são geralmente colados ou soldados por alta frequência. Este processo de solda é feito em materiais plásticos semelhantes que não precisam ser separados para reciclagem.

### *Seleção de Materiais*

De acordo com as especificações técnicas desejáveis dos materiais previamente descritas verifica-se uma gama de matérias-primas que atendem os requisitos. Pode-se dividir as opções de materiais de acordo com a aplicação:

REVESTIMENTO EXTERNO	PARTE INTERNA (ABSORVEDOR DE ENERGIA)
<ul style="list-style-type: none"><li>• PP + EPDM</li><li>• Fibra de Vidro</li><li>• ABS + PA</li><li>• PPO + PA</li><li>• PC + PBT</li><li>• PU (Poliuretano)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aço</li><li>• Espuma de Poliuretano</li><li>• Polipropileno Expandido</li><li>• GMT</li><li>• PC + PBT</li></ul>

Seguindo o guia proposto para DFD na seleção de materiais, devem ser avaliados os seguintes itens:

- 1) Utilização de materiais recicláveis: com exceção do poliuretano, todos os materiais apresentados são recicláveis, uns apresentam maior facilidade que outros porém atendem a este requisito;
- 2) Utilização de materiais reciclados: conforme discussão anterior, não é possível utilizar material reciclado na parte externa do pára-choque. Isto não impede a parte interna ser feita de material reciclado bastando atender aos requisitos pré-estabelecidos;
- 3) Limitação dos tipos de material: deve-se procurar empregar mesmo material para a parte externa e a interna ou então o absorvedor de energia ser feito em metal para que não haja necessidade de desmontagem;
- 4) Padronização na utilização de materiais: já é realizado informalmente no Brasil, principalmente no revestimento externo onde praticamente todos os fabricantes utilizam o PP+EPDM devido ao baixo custo;
- 5) Utilizar materiais compatíveis: serve para peças com componentes de difícil separação, o que não se aplica;
- 6) Evitar utilização de resinas e camadas protetoras: ainda não foi desenvolvido um processo alternativo viável economicamente para revestir com cor a parte externa dos pára-choques que não seja a pintura com utilização de primers e resinas. Existem processos onde o plástico já apresenta um corante na cor final porém é difícil injetar peças no mesmo molde com a variabilidade de cores disponíveis no mercado. Um outro processo consiste em injetar o material em duas fases: a primeira é uma fina camada de material plástico já na cor final e a segunda camada, mais espessa, com cor neutra. Estes processos teriam a vantagem de não misturar plásticos com resinas não compatíveis (tintas) na reciclagem;

- 7) Utilização de materiais simples e acessíveis: o polipropileno é um dos materiais mais acessíveis do mercado. Tanto que cada montadora procura desenvolver junto ao seu fornecedor características específicas para sua aplicação. Outros materiais são utilizados somente quando há um requisito de projeto difícil de ser atendido pelos materiais mais comuns. Ex.: ABS+PA para suportar temperaturas mais elevadas em motores de alta potência.

### *Conectores*

Os conectores - parafusos e rebites - são necessários para fixar o conjunto à carroceria.

Os seguintes passos devem ser seguidos:

- 1) Redução no número de conexões: os parafusos que prendem o revestimento externo (capa) do pára-choque devem ser reduzidos ao máximo. Procurar realizar fixação através de encaixe;
- 2) Facilidade de desmontagem: a utilização de encaixes facilita a desmontagem. Evitar o uso de ferramentas especiais para realização da desmontagem;
- 3) Utilização de adesivos: evitar a utilização de adesivos.

### *Projeto do Produto*

- 1) Identificar as peças do produto: as peças plásticas devem ser marcadas de acordo com a norma SAE J1344. Atualmente as grandes montadoras já vêm adotando esta prática de identificação para facilitar a separação para reciclagem;
- 2) Redução do número de peças: se possível fazer todas as funções do pára-choque em uma só peça, para evitar desmontagens;

- 3) Facilitar acesso ao produto: no caso deve-se pensar na acessibilidade das fixações para não haver necessidade de fabricação de ferramentas especiais para desmontagem.

### *Síntese das Soluções*

Para o projeto do pára-choque visando a reciclabilidade foram elaboradas 3 soluções em relação aos materiais utilizados. Uma matriz de decisão irá escolher qual a melhor alternativa segundo os seguintes parâmetros: facilidade de fabricação, custo da matéria prima, massa do conjunto, facilidade de desmontagem, facilidade de separação dos materiais e reciclagem dos componentes. A cada parâmetro será atribuído um peso que ressaltará a importância do reaproveitamento dos materiais.

As três soluções propostas são:

- 1) Revestimento externo em PP+EPDM com absorvedor de energia em aço
- 2) Revestimento externo em PP+EPDM com absorvedor de energia em espuma de poliuretano
- 3) Revestimento externo em PC+PBT com absorvedor de energia do mesmo material

Os parâmetros escolhidos avaliam:

- 1) Facilidade de Fabricação: avalia quantidade de ferramentas e equipamentos necessários para fabricação, grau de dificuldade de fabricação e montagem dos componentes;
- 2) Custo da Matéria-Prima: fator crucial na análise das alternativas do ponto de vista das montadoras;
- 3) Massa do Conjunto: o conjunto deve ser o mais leve possível para que o veículo gaste menor quantidade de combustível e polua menos;



- 4) Facilidade de Desmontagem: de acordo com o DFD diminui os custos de reciclagem tornando a matéria-prima reciclada competitiva em relação a matéria-prima virgem;
- 5) Facilidade de Separação: viabiliza e também diminui custos de reciclagem
- 6) Reciclagem dos componentes: se os materiais são facilmente recicláveis

Os parâmetros recebem pontuação máxima 5 e os pesos são informados na coluna Observação. A Matriz de Decisão fica:

	1ª Solução	2ª Solução	3ª Solução	Observação
Facilidade de fabricação	4	3	5	Peso 1
Custo da matéria prima	5	4	2	Peso 2
Massa do conjunto	2	5	4	Peso 1
Facilidade de desmontagem	5	3	4	Peso 2
Facilidade de separação	5	4	5	Peso 2
Reciclagem de componentes	4	2	3	Peso 2
<b>TOTAIS</b>	<b>4,4</b>	<b>3,4</b>	<b>3,7</b>	

Tabela 8.1 – Matriz de Decisão para seleção da melhor solução de materiais para pára-choque

Conclui-se que a melhor solução é primeira que consiste em revestimento externo em PP+EPDM com absorvedor de energia em aço. Apesar do absorvedor em aço ser mais pesado que seu equivalente em plástico, não seria necessário desmontá-lo para reciclagem já que trata-se do mesmo material da carroceria que é totalmente reciclável. Tanto o PP como o PC/PBT precisam ser pintados e apresentam as mesmas dificuldades de remoção da tinta. A

vantagem do PC/PBT é facilitar o processo de pintura já que não é necessária a aplicação de primer para fixação da tinta.

Em relação às práticas de projeto pode-se exemplificar através de comparação de dois modelos de uma mesma montadora. O 1º modelo (automóvel popular com grande volume de produção) apresenta fixação do pára-choque muito simples. De acordo com a Figura 8.1 são necessárias 10 pontos de fixação (parafusos).

Já o 2º modelo (automóvel de luxo) apresenta projeto de fixação mais complexo são necessários aproximadamente pontos de 23 fixação entre parafusos e rebites. Assim constata-se a importância do projeto na determinação da facilidade de desmontagem e reciclagem destes componentes.

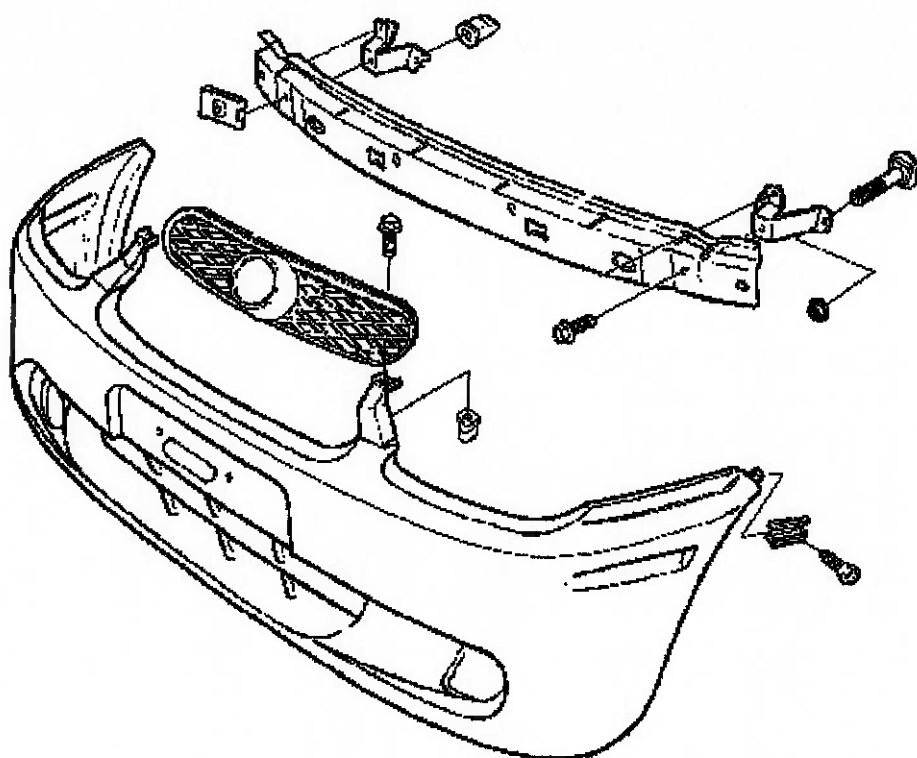


Fig 8.1 – Esquema de um pára-choque de carro popular

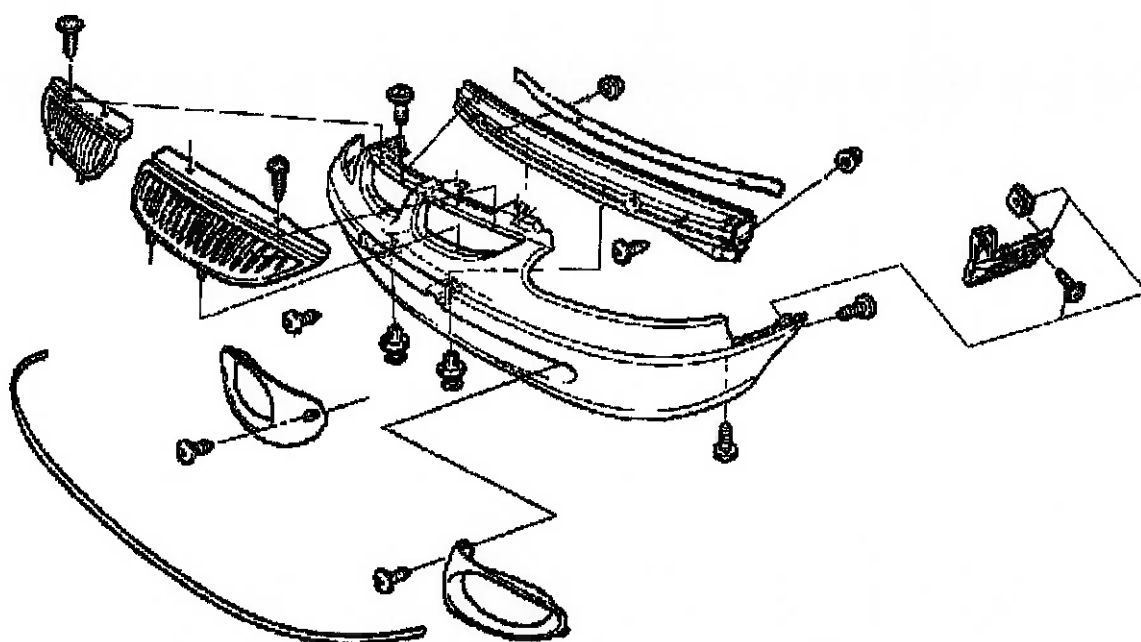


Fig. 8.2 – Esquema de pára-choque de automóvel de luxo

## 9. Conclusão

O objetivo deste trabalho foi analisar a reciclagem de um componente automotivo verificando as possibilidades de reaproveitamento. Foram obtidas duas alternativas, sendo que uma delas (a 2ª possibilidade) já é implementada em parte devido ao retorno econômico proporcionado. Destaca-se ainda que embora haja a reciclagem de grande parte do material, verifica-se que devido ao alto valor econômico da peça, em muitos casos prefere-se recuperá-la para continuar sua vida útil. Esta alternativa foi desconsiderada no estudo pois afeta diretamente a segurança já que não é possível garantir as propriedades mecânicas de peças recuperadas.

Também foi discutida a preocupação em se formalizar metodologias que permitam a análise do impacto no meio ambiente ainda na fase de projeto e as tendências de algumas montadoras ao tratar o assunto. Descobriu-se que não existe um esforço conjunto das grandes montadoras em desenvolver tecnologia para reciclagem de componentes. Cada montadora procura desenvolver sua própria tecnologia para seus materiais já que esta torna-se uma ferramenta de propaganda ou então para adequação às leis governamentais.

Uma comparação e seleção de alternativas de materiais de pára-choques foi realizada com o objetivo de aplicar o conceito de DFD durante o projeto. Constatou-se que modelos diferentes de uma mesma montadora podem apresentar diferenças significativas de projeto quando analisadas sob o ponto de vista do DFD.

## 10. Referências Bibliográficas

- [1] MANO, E.B. **Polímeros como Materiais de Engenharia**. Ed. Edgard Blucher, 1991.
- [2] MICHAELI, W. et al. **Tecnologia de Plásticos**. Ed. Edgard Blucher, 1995.
- [3] KAMINSKI, P.C. **Desenvolvendo Produtos com Planejamento, Criatividade e Qualidade**. Livros Técnicos e Científicos Editora, 2000.
- [4] KOGA, G.A.; UEMURA, V.A. **Reciclagem na Indústria Automobilística: Projeto de Lanterna Traseira**. São Paulo, 2000. Trabalho de Formatura – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- [5] GONÇALVES, E.E.O.; BRITO, M.O.C. Reciclagem Novos Rumos para o Refugo Plástico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 1., São Paulo, 1991. **Anais**. Petrobrás Química S.A. – Gerência Técnica. p. 60-62.
- [6] UOHASHI, H. Tendency of Enginerring Thermoplastics on Automotive Industry World Wide. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 2., São Paulo, 1993. **Anais**. Gotemba, Shizuoka, Japan. p. 41-46.
- [7] OKAMOTO, J.B.S. Reciclagem na Indústria Automobilística Projeto F.A.RE. (Fiat Auto Recycling). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 2., São Paulo, 1993. **Anais**. FIAT Automóveis S.A. p. 723-726.
- [8] WIEBECK, H. et al. Dificuldades na Reciclagem do Plástico do Resíduo Sólido Urbano do Lixão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 3., São Paulo, 1995. **Anais**. p. 1183-1186.
- [9] REVISTA OFICINA MECÂNICA. Rio de Janeiro, Ano 12, número 134, nov. 1997.
- [10] REVISTA PLÁSTICO INDUSTRIAL. São Paulo, Ano I, número 3, nov. 1998.
- [11] REVISTA PLÁSTICO INDUSTRIAL. São Paulo, Ano I, número 7, mar. 1999.

- [12] REVISTA PLÁSTICO INDUSTRIAL. São Paulo, Ano I, número 12, ago. 1999.
- [13] REVISTA PLÁSTICO INDUSTRIAL. São Paulo, Ano III, número 32, abr. 2001.
- [14] HOECHST HIGH CHEM. **Hostacom X M1 U14 Product Information**. Germany, 1997.
- [15] PLASTIVIDA. Pesquisa de Recicladores Realizada na Grande São Paulo. São Paulo, 1999.
- [16] PLASTIVIDA.  
<http://www.plastivida.org.br>
- [17] RECYCLER'S WORLD.  
<http://www.recycle.net>
- [18] **Plastics: A material of choice for the automotive industry**.  
<http://www.apme.org/literature/htm/02.htm>
- [19] **WasteWatch Information Sheet: Car Recycling**.  
<http://www.wastewatch.org.uk>
- [20] **Links Car Guide Recycling**.  
[http://www.polis.net/lguide\\_carrecycling.html](http://www.polis.net/lguide_carrecycling.html)
- [21] **Global Automotive Report: EU considers car recycling plan that automakers oppose**.  
<http://www.detnews.com/1999/autos/9906/27/06250075.htm>
- [22] Governo poderá contar só com 14 termelétricas. Por enquanto. **Jornal da Tarde**, São Paulo, 14 jun. 2001.

[23] BROECK, P.V.D.; RAWSON J.; GROSSER M. New Fascia Materials Technology for Europe and North America. In SAE International Congress & Exposition, Feb 23-26, 1998.

[24] EVANS, D.; MORGAN, T. Engineering Thermoplastic Energy Absorbers for Bumpers. In SAE International Congress & Exposition, Mar 1-4, 1999.

[25] HA, J. et al. Practical Life Cycle Assessment Methodology for a Whole Automobile. In SAE International Congress & Exposition, Dec 1-3, 1998.

[26] HA, J. et al. Life Cycle Assessment Study for a Bumper. In SAE International Congress & Exposition, Dec 1-3, 1998.

[27] **SAE Bumper Standards Committee**

<http://www.sae.org/technicalcommittees/bumper.htm>