

MAGNO AUGUSTO PATARO REDIVO

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE PAINÉIS EXTERNOS
AUTOMOTIVOS EM TERMOPLÁSTICOS**

São Paulo
2005

MAGNO AUGUSTO PATARO REDIVO

**Estudo Da Viabilidade De Painéis Externos Automotivos Em
Termoplásticos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica do Estado de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Automotiva

Área de Atuação: Engenharia Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Israel Brunstein

São Paulo
2005

FOLHA DE APROVAÇÃO

Magno Augusto Pataro Redivo
Estudo da Viabilidade de Painéis Externos Automotivos em Termoplásticos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola Politécnica do Estado de São Paulo,
para obtenção do título de Mestre em Engenharia Automotiva
Área de Concentração: Mecânica Automobilística

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____

Instituição: _____ Assinatura: _____

DEDICATÓRIA

A Luciana, minha esposa, com amor e gratidão, por sua compreensão, apoio e ajuda ao longo das diversas noites e finais de semana dedicados a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Israel Brustein, meu imensurável agradecimento pela orientação e apoio na elaboração deste trabalho.

Ao Sr. Thomas Rappel, gerente da plataforma global automotiva da GE Plastics, pelo apoio técnico e compartilhamento da experiência no assunto tratado.

À General Motors, no fornecimento do conhecimento, da tecnologia e das informações pertinentes à análise.

À General Eletric, pela concessão da bolsa de mestrado e pelo apoio técnico para a realização desta pesquisa.

“(...) a empresa produtora não é detentora de um direito divino à livre iniciativa, à livre escolha. Nem seus consumidores. O interesse maior da comunidade deve ser protegido, assim como o clima e o bem estar futuro, e deve haver uma preocupação com os recursos esgotáveis. Como os automóveis têm de ser construídos, ter combustível e ser dirigidos (...), um compromisso entre o interesse financeiro atual e o interesse público mais longo é essencial e inevitável. Entretanto, como regra geral, esse compromisso deve favorecer os interesses da comunidade como um todo e também os das gerações futuras (...)”

John Kenneth Galbraith, A Sociedade Justa

RESUMO

Redivo, M. **Estudo da Viabilidade de Painéis Externos Automotivos em Termoplásticos**. 2005. 92 f. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

A entrada de veículos importados após a abertura do mercado nacional ocorrida em 1990, fez a indústria automobilística rever seus projetos e produtos, do ponto de vista da qualidade, segurança e custo de seus produtos (custos de fabricação e uso). De característica predominantemente européia, a frota nacional de veículos é resultado da implementação de projetos e tecnologias advindas basicamente do velho continente. Berço da Indústria Automobilística, a Europa (principalmente França, Alemanha e Itália) vem investindo recursos consideráveis na implementação de novas tecnologias que visam a segurança (passageiros e pedestres), conforto e economia de energia. Por influência deste último, por pressões ambientais ou até econômicas, parte destes recursos vem sendo dedicado ao desenvolvimento de soluções que buscam a redução do consumo de combustíveis e, conseqüentemente, a redução da emissão de poluentes pelos automóveis.

Os projetos para a melhoria da eficiência energética dos veículos adotam várias frentes, uma delas é o desenvolvimento de materiais mais leves e resistentes que atendam a crescente demanda por desempenho, segurança e confiabilidade. Dentro deste universo, estão os termoplásticos de engenharia e de alto desempenho, que vem gradativamente sendo utilizados para a fabricação de componentes automotivos.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização destes termoplásticos em peças de acabamento externas, em substituição às

atualmente utilizadas chapas de aço estampadas. Não menos importante, abordaremos o impacto que tais implementações teriam na segurança de pedestres/condutores e, ao meio-ambiente, medido através da emissão de poluentes.

Os resultados aqui obtidos tem como objetivo fornecer as pessoas responsáveis pelo desenvolvimento de projetos automotivo com dados, processos e argumentos quanto a viabilidade do uso de termoplásticos em painéis externos automotivos. Entretanto, com pequenas adaptações, os resultados apresentados podem ser aplicados para outros componentes automotivos.

Palavras-chave: Viabilidade, Termoplásticos, Automóveis, Plásticos, Carroçaria

ABSTRACT

Redivo, M. **Automotive Outer Panels Viability in Thermoplastics**. 2005. 92p. Thesis (Mastery) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005

The growing presence of imported vehicles in the local market after 1990, when favorable importation taxes was implemented by the government, makes the local auto industry rethink their projects and products, in quality, safety and cost (fabrication and user) perspectives. With a predominant European characteristic, the auto national fleet is a result of projects and technologies implementation coming basically from the Europe. Automotive Industry Cradle, Europe (mainly France, Germany and Italy) have been invested respectable resources for new technologies implementation that target the safety (passengers and pedestrian), comfort and energy saving. By the influence of this last, by environmental pressure or even economics, part of these resources have been directed to solutions development that search for fuel consumption reduction and, consequently, pollutants emissions from the autos.

The projects for energy efficiency enhancements in automotive industry adopt several directions; one of them is the development of lighter and stronger materials that attend to the growing demand for performance, safety and reliability. In this universe, we have the engineering and high performance thermoplastics that are gradually being used for auto components parts.

This present work has as goal, to evaluate the technical and economic viability of thermoplastics usage in auto outer panels parts, in substitution to the current used steel sheets. Not less important, we will approach the impact of such changes in

pedestrian/passenger safety and, to the environment, measured through pollutants emissions

The results obtained in this research has also the objective of supplying to people responsible for automotive projects development with data, processes and arguments regarding to plastics usage in vehicles outer panels. However, with small adaptations, the results presented can be applied to other components in the vehicle.

Keywords: Viability, Thermoplastics, Automobiles, Plastics, Body Panels.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Pressuposto.....	13
1.2 Limites.....	14
1.3 Justificativa.....	15
1.4 Tendências e Realidades da Indústria Automotiva Mundial.....	17
2 VIABILIDADE TÉCNICA.....	21
2.1 Métodos de Fabricação de Peças Plásticas.....	21
2.1.1 Moldagem por Injeção.....	21
2.1.2 Moldagem por Compressão.....	22
2.1.3 Extrusão.....	22
2.1.4 Moldagem por Sopro (Extrusão-Sopro / Injeção-Sopro).....	23
2.1.5 Processo RIM (Reaction Injection Molding).....	24
2.2 Novas Tecnologias em Polímeros à disposição da Indústria.....	24
3 VIABILIDADE ECONÔMICA.....	28
3.1 Resultados tangíveis e Intangíveis do uso de termoplásticos.....	33
3.1.1 Redução de até 50% do peso do componente.....	33
3.1.2 Liberdade de Design.....	34
3.1.3 Redução no Investimento em Ferramentas.....	36
3.1.4 Integração de peças.....	37
3.1.5 Resistência ao dano e baixa taxa de seguro.....	37
3.1.6 Menor tempo de desenvolvimento.....	38
3.1.7 Diferenciação da Marca.....	39

3.1.8 Reciclabilidade	40
3.2 Premissas, fontes e parâmetros utilizados na Viabilidade Econômica.....	41
3.3 Resultados de Custo e Determinação do “Break-even”	44
4 ANÁLISE AMBIENTAL	50
4.1 Informações Gerais sobre o Ciclo de Vida dos Produtos no Impacto Potencial do Efeito Estufa	50
5 ANÁLISE DE SEGURANÇA.....	67
5.1 Segurança Veicular e de Condutores.....	67
5.2 Segurança Geral versus Segurança Individual	74
5.3 Redução de Peso e Segurança Veicular – Uma questão polêmica.....	79
5.3.1 As Leis da Física: O ponto que todos concordam	82
6 CONCLUSÕES.....	92
6.1 Comentários Gerais	92
6.2 Comentários sobre o Estudo de Viabilidade	94
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE A: Análise de Viabilidade Econômica Detalhada para fabricação de um Pára-Lama de Automóvel (Condição: 100.000 carros/ano).....	99

1 INTRODUÇÃO

1.1 Pressuposto

Materiais Poliméricos tem sido amplamente utilizados na Indústria Automotiva como alternativa tecnológica na produção de componentes dos mais variados subsistemas dos automóveis. Dentre estes subsistemas, destacam-se aqueles componentes que desde a criação da Indústria Automotiva tinham o metal como o material mais viável, seja por oferecer um menor custo, seja por requisito de segurança ou performance mecânica. Os termoplásticos até então não conseguiam substituir os metais em painéis externos automotivos, tais como pára-lamas, portas, capôs, tampas traseiras, etc.; porém nos últimos anos, têm-se observado a tendência em romper com tais conceitos por motivos que excedem aspectos estéticos e da promoção da marca e que veremos na evolução dos capítulos 2 e 3.

Com o objetivo de comprovar a viabilidade da utilização de termoplásticos em painéis externos, uma análise comparativa detalhada entre termoplásticos, metais e termofixos será elaborada. Além do aspecto técnico e econômico, será abordado aspectos de segurança e de meio-ambiente, redefinindo conceitos e abordando assuntos que normalmente ficam fora do escopo das empresas nacionais automotivas.

Foram estabelecidos níveis de atividade e produção ideais para tornar tais alternativas viáveis nos mais variados focos de análise, onde usaremos o conceito do ponto de equilíbrio (break-even point).

1.2 Limites

Neste estudo, focaremos nossa atenção nos benefícios da substituição de um componente externo da carroçaria do veículo de metal para termoplástico. Uma vez que buscaremos mostrar também o impacto de tal mudança na segurança de condutores e pedestres, tomaremos como referência em nossa análise um componente (peça) da parte frontal do veículo que normalmente é envolvida nas colisões automobilísticas, ou em atropelamentos.

Na abordagem ambiental do Capítulo 4, tomaremos como base um estudo elaborado pela Ecobalance Inc./ PricewaterhouseCoopers para a American Chemistry Council, (2001). Este estudo fornecerá a base para a análise do impacto ambiental que a redução da massa do veículo, advinda da substituição de materiais diversos por plásticos, traz ao meio ambiente.

Na abordagem econômica do Capítulo 2, iremos detalhar os benefícios financeiros advindos da substituição de um componente¹ atualmente feito em metal para plástico². Nesta análise calcularemos o chamado custo sistêmico para 5 alternativas distintas, onde exploraremos desde o custo de aquisição das matérias-primas até a montagem final do item no veículo.

¹ Componente será o nome adotado aqui sempre que nos referirmos à uma peça de um veículo genérico.

² O termo “plástico” comumente será usado neste trabalho quando nos referirmos aos polímeros termoplásticos (materiais poliméricos que se fundem quando aquecidos e solidificam quando esfriados). Erroneamente generalizado, o termo “Plástico” é por vezes citado pelo público em geral como qualquer polímero em sua forma sólida. Quando quisermos nos referir exclusivamente a um polímero não termoplástico, iremos usar os termos “termofixos” ou “elastômeros”.

E finalmente, discutiremos a demanda pelo projeto de automóveis mais seguros do ponto de vista, não somente dos condutores, mas também dos pedestres no Capítulo 5. Neste tópico, mostraremos as vantagens que o plástico traz comparado com os materiais concorrentes e qual o impacto que a redução do peso dos veículos traria para a segurança da sociedade com um todo.

1.3 Justificativa

A indústria automotiva tem uma participação inquestionável no mercado e economia atuais. O montante de investimentos aplicados nesta indústria para o desenvolvimento e implementação de novas tecnologias que visam a segurança, economia e bem estar do consumidor na sociedade, fornece-nos uma pequena idéia da importância que este assunto tem nos dias de hoje.

Questões relacionadas à segurança de condutores e pedestres, e o impacto que a Indústria Automotiva e o a emissão de gases advindas dos automóveis trazem para o Meio Ambiente, vem recebendo grande atenção de entidades governamentais e, de certa forma embrionária mas crescente, da Sociedade como um todo.

Nos últimos 20 anos temos visto um considerável aumento do uso de materiais plásticos em aplicações automotivas. A redução do peso frequentemente mostra ser a razão principal desta mudança, impulsionada pela expectativa do melhor rendimento dos veículos. Esta redução está propensa a se tornar um fator ainda mais crítico, a medida que montadoras de veículos esforçam-se para reduzir a emissão de poluentes através do menor consumo de combustíveis.

Desde a década de 90 os termoplásticos vêm sendo utilizados para a confecção de painéis externos de veículos em escala produtiva, algumas montadoras já colocaram em circulação alguns de seus modelos com tal tecnologia; alguns exemplos são:

Nissan Almera Tino – 50.000 carros/ano

Peugeot 307 – 500.000 carros/ano

Renault Laguna II – 350.000 carros/ano

Renault Clio 2 FL – 450.000 carros/ano

Nissan X-trail – 90.000 carros/ano

Mercedes Benz S-Class Coupe – 15.000 carros/ano

VW New Beetle – 200.000 carros/ano

Renault Scenic 2 FL – 380.000 carros/ano

Renault Scenic 4x4 – 50.000 carros/ano

Mercedes Benz Classe A – 150.000 carros/ano

Land Rover Freelander – 80.000 carros/ano

A montadora de veículos Renault já incorpora tais peças na maioria dos modelos comercializados no Brasil, porém até o momento, não temos observado o mesmo movimento das outras montadoras que aqui operam, apesar de contabilizarmos nos outros continentes 11 modelos de carros com tais conceitos em 7 diferentes montadoras. Isso nos leva a indagação dos motivos pelo qual a indústria nacional, que vem se mostrando um dos pólos globais no desenvolvimento de novos produtos, não tem tomado o mesmo caminho, com a mesma determinação.

O mercado europeu já contabiliza mais de 5 milhões de peças (pára-lamas e relacionados) produzidos por ano em termoplásticos de engenharia.

1.4 Tendências e Realidades da Indústria Automotiva Mundial

Reportagem da revista *Época* (2004) mostra o que se tem projetado e implementado nos automóveis de passeio comercializados globalmente visando o conforto, segurança e a economia. Dentre as informações apresentadas, destacam-se o aumento da participação da eletrônica embarcada de 22% atuais para até 40% (em peso) até 2010. Sistemas hoje restritos aos carros de luxo aos poucos invadirão os modelos mais baratos.

Segundo a revista...

“a francesa Michelin anunciou para o começo de 2020 os primeiros compostos *airless* (pneus sem ar), uma evolução dos atuais *run-flat* que equipam alguns carros como os BMW's. Como o nome sugere, os *run-flat* podem rodar por até 200 quilômetros, à velocidade de 80 km/h sem comprometer a segurança. Com isso, pode-se decretar o fim do estepe, uma peça que, além de pesada, ocupa espaço na área do porta-malas”

Rubens Sautner, da Saint Gobain Sekurit (empresa renomada na fabricação de vidros automotivos) revelou à revista que “O plástico deve substituir os vidros”. Com isso, enxerga-se o fim os limpadores de pára-brisa, com utilização de materiais repelentes à água e à sujeira. Também menciona a revista que tal tecnologia promoverá um aumento de segurança considerável pela criação de pára-brisas interativos onde serão projetadas teclas de controle que servirão tanto para abrir portas como para mudar a estação do rádio. “[...] hoje nos Estados Unidos, o motorista pode projetar no pára-brisa todas as indicações do painel de instrumentos, como velocímetros e conta-giros [...]”, relata Guerrero (2004).

Na área de segurança, bancos estão sendo desenvolvidos para que em caso de impacto, num acidente, recuarão ao mesmo tempo em que se inclinarão para trás para proteger o corpo dos passageiros. Também serão mais envolventes, feitos com materiais leves, que absorvem energia e reduzem o impacto de uma batida.

Outros itens como sensores de distância posicionados nos pára-choques vem sendo apresentado pela Mercedes, que mostra a distância do carro à frente quando em movimento, alertando para possíveis colisões. Faróis direcionais já é uma realidade hoje em carros luxuosos em que o feixe de luz acompanha o contorno da curva conforme o ângulo das rodas do veículo. A empresa Bose vem desenvolvendo um sistema eletrônico para suspensão magnética que “lê” o tipo de terreno e às condições da carga transportada para adaptação automática da suspensão.

No campo de segurança passiva, a revista relata que: (Guerrero, 2004, p.64)

“... obrigados por lei, os fabricantes europeus também devem alterar a parte dianteira dos carros para amenizar os efeitos de um atropelamento: a partir de 2010, todos os modelos terão de sair de linha de montagem com maior espaço entre o pára-choque e o motor, para ampliar a área de deformação da carroçaria e tornar o impacto menos nocivo ao pedestre. A frente ganhará volume e perderá cantos vivos e adereços que possam causar ferimentos”

A Honda anunciou que vem trabalhando em um protótipo chamado Polar II, cuja tampa do motor se desloca para o alto nas colisões com pedestres. Segundo Gerrero (2004, p.65), “Tal recurso visa proteger a cabeça da vítima do choque, principal causa de mortes nos atropelamentos”

Ainda com relação à segurança passiva, “[...] a lei de proteção ao pedestre também deverá influir nos materiais de construção da carroçaria. Plásticos mais resistentes e, a despeito disso, mais flexíveis devem, aos poucos, ocupar o lugar do aço [...]”.

O emprego de novos materiais e de novos processos de manufatura revela outra preocupação: o meio ambiente. Os materiais serão totalmente reciclados e as emissões de gases drasticamente reduzidas. Carlos Henrique Ferreira da Fiat (2004 apud Gerrero, 2004, p66) , complementa: “Hoje, boa parte de um carro é reaproveitada: o pára-choque, por exemplo, vira peças plásticas de acabamento interno, que, depois de recicladas, formam a base para a feitura de carpetes [...]”.

Na história contemporânea mundial da Indústria Automobilística, a MCC Smart GmbH (subsidiária da DaimlerChrysler) investiu 80 milhões de euros em sua fábrica em Hambach (França) para ampliar sua família de carros com painéis externos em termoplásticos (“carros em plástico”)³, atualmente responsável pela produção do modelo *Smart*. O foco deste investimento foi o lançamento do modelo *Roadster* , que foi ao mercado em 2003/4. Em outro projeto desta natureza, a DaimlerChrysler em *joint venture* com a Mitsubishi Motors Corporation vem desenvolvendo um compacto de 5 portas, projeto Z-Car, na Holanda.

Os painéis do Smart (3 portas, 2 assentos) são feitos atualmente em blendas de PC/PBT⁴ e PPO/PA⁵, termoplásticos de engenharia da GE Advanced Materials, Plastics. Já o modelo Roadster tem cobertura de capô e teto moldados em chapas de poliéster termofixa composta com fibra de vidro. A produção divulgada do Roadster é de 30.000 unidades por ano.

Em reportagem, Alexander Pothoven (gerente de sistemas exteriores da MCC Smart) disse que “[...] o novo carro 4 assentos, baseado no carro conceito *tridion4* terá

³ Modern Plastics. MCC gearing up more plastics-bodied cars. Maio/2003, disponível em www.modplas.com

⁴ Policarbonato/polibutiltereftalato

⁵ Polioxifenileno/poliamida

todos os painéis exteriores em termoplásticos [...]”, o que contribui para as questões de reciclabilidade e, conseqüentemente, ambientais.

2 VIABILIDADE TÉCNICA

2.1 Métodos de Fabricação de Peças Plásticas

Os processos mecânicos de transformação de polímeros consistem basicamente na alteração de um produto químico, seja na forma líquida ou sólida, em um produto de maior valor agregado aos olhos do cliente final ou, para os agentes dentro da cadeia produtiva. Então a transformação de polímeros pode resultar, respectivamente, na produção de um produto acabado (qualquer artefato feito em polímero) ou de um produto semiacabado (aditivos, *masters*⁶, chapas, perfis, compostos, *pellets*⁷).

Estes processos de transformação, usados para “modelar” a matéria-prima em produto acabado podem ser classificados:

2.1.1 Moldagem por Injeção

Moldagem por injeção é o processo em que o material termoplástico é fundido e então injetado dentro da cavidade de um molde ou matriz. O material fundido é então esfriado durante o processo, levando-o ao seu formato final que reflete a cavidade por ele preenchida. Este processo tem como característica e vantagem a elevada reprodutibilidade da ferramenta e repetibilidade dimensional do produto, se comparado aos outros processos

⁶ *Masters* são concentrados termoplásticos normalmente usados, durante o processo, como veículos para aditivos e corantes. São usados em pequenas quantidades quando misturados com outros materiais puros.

⁷ *Pellets* é o nome usado na indústria de transformação aos grânulos termoplásticos (material direto) usado na confecção de produtos acabados.

termoplásticos. O processo contempla etapas e parâmetros que executam grande influência na qualidade final do produto.

2.1.2 Moldagem por Compressão

Na moldagem por compressão, o material polimérico é colocado numa cavidade aquecida e pressurizada por um determinado período de tempo. Como consequência o material passa por transformações químicas que resultam na elevação de suas propriedades e adequadas para desempenhar o papel esperado. Geralmente este processo gera a necessidade de operações de acabamento (operações secundárias), devido à menor qualidade superficial da peça obtida e às variações naturais dos parâmetros de processo.

2.1.3 Extrusão

O processo de extrusão consiste na manutenção do material plástico numa temperatura uniforme e contínua (no estado fundido) onde é forçado a passar através de uma ferramenta que executará a forma final. A energia envolvida no processo consiste em eletricidade para abastecer a parte mecânica/hidráulica, e também as resistências de aquecimento que envolvem o canhão de extrusão, responsáveis por elevar a temperatura do material e assim, fundir o termoplástico.

A manutenção da forma final do produto (chapas, filmes, tubos e perfis) se dá através do esfriamento do material termoplástico após a definição do seu formato (executada pela matriz ou *die*). A extração do calor ocorre pelo contato com o metal das matrizes de calibração (condução), ou por convecção através de ventilação forçada/natural

ou pela imersão em banhos líquidos. As matrizes de calibração, além de promover o resfriamento, tem como principal função garantir a estabilidade e repetibilidade dimensional desejada para o produto final no estado sólido. Esta fase é de fundamental importância devido ao natural processo de relaxamento da orientação molecular imposta durante o processo de extrusão. Esta variação dimensional é chamada de *inchamento do extrudado*.

2.1.4 Moldagem por Sopro (Extrusão-Sopro / Injeção-Sopro)

Este é um processo usado para fabricação de componentes plásticos ocios tais como recipientes do tipo galões, garrafas, bonecas, etc. O processo genericamente consiste na extrusão de um tubo plástico que então é “soprado” contra uma ferramenta que formará sua superfície externa final (extrusão-sopro), esfriando o material pela extração do calor até a completa solidificação.

Já o processo de injeção-sopro consiste primeiramente da Injeção de pré-formas, que nada difere do processo descrito na seção 2.1.1. Posteriormente esta pré-forma é reaquecida ao ponto de permitir que a pressão interna oferecida pelo ar no processo de “sopro”, escoe o material termoplástico até a forma final definida pela ferramenta. Este processo é muito utilizado na confecção de garrafas de refrigerante com o material PET (polietileno tereftalato) ou frascos para utensílios domésticos com PE (polietileno).

2.1.5 Processo RIM (Reaction Injection Molding)

O processo RIM consiste do processo de Injeção, geralmente de uma resina termofixa, e não termoplástica, de baixa viscosidade dentro de uma cavidade de metal (molde). Através de uma reação química, iniciadas por aquecimento ou pela adição de catalisadores momento antes do processo de injeção, o material solidifica tomando a forma da ferramenta que o envolve. Este processo é utilizado quando a reciclagem das peças não é um fator crucial do projeto e quando se deseja trabalhar com produtos de melhor estabilidade dimensional e superior resistência térmica do produto acabado.

2.2 Novas Tecnologias em Polímeros à disposição da Indústria

Novas Tecnologias em Polímeros vem sendo constantemente divulgadas e reinventadas, potencializadas pela combinação de novos conhecimentos e descobertas no ramo da síntese e processamento de polímeros. A evolução da demanda dos bens de consumo, sendo uma delas o automóvel, vem impulsionando para que sempre tais pesquisas gerem como produto uma tecnologia que seja capaz de elevar a performance e/ou reduzir o custo de fabricação destes bens.

Alguns exemplos destas inovações são as tecnologias de polímeros condutores, nano-compósitos e espumas microcelulares. Veremos o que são cada uma destas tecnologias.

Em artigo publicado na *Plastics Trends* (1999), a empresa Montell (fabricante de Compostos Poliolefínicos) e a General Motors publicaram as vantagens da utilização do Nanocompositos na Indústria Automobilística. A inclusão de borracha em termoplásticos

para melhorar a resistência ao impacto é bem conhecida, entretanto a nova técnica permite a inclusão de grande quantidade de partículas de borracha. “Finas partículas bem distribuídas numa matriz de polipropileno resulta numa liga chamada ‘thermoplastic olefin elastomer’ (TPO), diferentemente de uma blenda (mistura física de 2 ou mais materiais) [...]”. O segredo do nanocomposito de TPO está na inserção de cargas minerais (*clay*) nesta matriz polimérica, na ordem de 10^{-9} m (nanômetro) e na forma de minúsculas lâminas.

Os benefícios advindos desta tecnologia são a redução da quantidade de carga mineral (redução de peso) com equivalente rigidez, melhorada estabilidade dimensional, melhorada performance de impacto à baixas temperaturas e, acima de tudo, reciclável. Em suma, conseguiu-se aumentar a eficiência dos elementos de reforço nestas matrizes poliméricas. Testes quantitativos mostraram TPO nanocompósito com 5% de carga mineral teve o mesmo resultado de rigidez que um TPO com 25-35% de talco, isto se traduz numa redução de peso de 20%. Também a menor quantidade de carga mineral contribui com a reciclabilidade do composto.

A mesma tecnologia foi testada e comprovada na inserção de nanopartículas de prata em matrizes poliméricas como efeito anti-microbial para aplicações médicas e alimentícia (Modern Plastics, 2002). O *Institute for Manufacturing and Advanced Materials Bonding Technology and Polymers Dept* (Bremen-Alemanha) junto com a empresa *Biogate GmbH (Nürnberg-Alemanha)* mostrou que a inclusão de 0.1 a 2% de nanopartículas de prata com diâmetros de 20-50nm promoveu um aumento substancial do resultado antimicrobial de longa duração.

“[...] a melhoria do resultado se dá pela melhor dispersão de íons de prata na superfície da matriz quando na forma de nanopartículas. Mesmo a inserção de 5% de prata no processo convencional não mostrou o mesmo efeito. Além disso, o custo da nano-prata foi de 1000€/kg, comparado à 2500€/kg para microesferas de prata e 3000€/kg para pó de flocos de prata; significando que mesmo a matéria-prima já oferece uma redução de custo [...]”.

Os termoplásticos microcelulares vieram ao público nos anos 80 através do MIT. Sua unicidade veio do tamanho da célula da espuma (na faixa de 1-10 microns) que se diferenciava dos produtos celulares convencionais com tamanho de célula variando de 102 a 104 microns (Plastics Trends, 2004). Tal resultado foi obtido com o emprego de agentes inorgânicos expansores para criar minúsculas bolhas na matriz polimérica. Mais tarde viram que o produto resultante viria preencher um gap de demanda entre os materiais poliméricos e as espumas poliméricas.

As características das espumas micro-celulares (MCF – microcellular foam) são o reduzido tamanho celular, alta densidade celular, agente expensor inorgânico e nenhum agente nucleante. Desde que as células são tão pequenas, o MCF pode ser considerado mais um material plástico do que um produto celular. Tais características levam a um produto com superior propriedade de isolamento térmico/acústico, com um produto estrutural uniforme. Algumas propriedades mecânicas, relacionadas com a propagação, tais como fadiga e indentação, mostraram-se superiores comparado ao respectivo material plástico (em sua estrutura convencional). As espumas termoplásticas convencionais são conhecidas pela alta relação performance/peso, que aumentam conforme o tamanho da célula diminui e a integridade da célula aumenta. Podemos imaginar o resultado sobre as propriedades com as estruturas celulares MCF.

A Royal Swedish Academy of Sciences (Plastics Trends, 2002) ofereceu o prêmio Nobel em Química em 2000 aos Professores Alan J. Heeger, Alan G. McDiarmid e Hideki

Shirakawa pela “descoberta e desenvolvimento de polímeros eletricamente condutores”. Plásticos são polímeros e, como comumente conhecidos, são isolantes ou não conduzem eletricidade. Isto é a razão pela qual polímeros são usados no revestimento de cabos para proteção contra choques elétricos. Porém, este conceito tem sofrido mudanças desde que o poliacetileno foi dopado através da oxidação com vapor de Iodo para aumentar a condutividade elétrica em 1 bilhão de vezes (Plastics Trends, 2000).

A condutividade depende da estrutura elétrica dos materiais. Quanto mais elétrons livres na estrutura com energia de coesão relativamente baixa, mais elétrons livres poderão “correr” de um átomo para outro quando um campo elétrico for aplicado. Como os metais possuem uma grande densidade de elétrons livres, ele conduz eletricidade. Mas isso não é o caso para os polímeros.

Entretanto há polímeros que contém ligações duplas na cadeia principal da molécula, cujo elétrons podem servir para a condução se tratados adequadamente. Aplicações para estes polímeros já estão sendo estudadas na substituição de cristais líquidos, podendo ser fabricados em grandes chapas para o uso em janelas.

3 VIABILIDADE ECONÔMICA

Economia de combustível é um dos muitos atributos que podem ser desejados pelos consumidores na decisão de compra de um automóvel. Performance dos veículos, manuseabilidade, segurança, conforto, confiabilidade, capacidade para passageiros e carga, tamanho, estilo, ruído, e custo são definitivamente fatores importantes. Regulamentações requerem dos veículos o atendimento dos padrões de emissões de poluentes e comprovadas características de segurança. Estes requisitos influenciam o projeto final do veículo, determinando a quantidade de tecnologia embarcadas e consumo de combustível.

Aproximadamente $2/3$ da energia disponível no combustível é desperdiçada na forma de calor na saída de exaustão ou em perdas por atrito. O restante é transformado em energia mecânica ou trabalho. Parte do trabalho é usado para vencer as perdas por atrito na transmissão e em outras partes do trem de potência, parte deste trabalho é usado para operar os acessórios do veículo (ar condicionado, alternador/gerador, e assim por diante). Adicionalmente, perdas ocorrem quando o veículo está na posição neutro; energia usada para superar o atrito natural do motor ou na refrigeração. Na fase desaceleração também é vivenciada a perda de energia.

Como resultado, aproximadamente 12 a 20% da energia original contida no combustível é de fato usada para impulsionar o veículo. Esta energia de propulsão é usada finalmente para superar:

1. Inércia (peso) quando da aceleração ou subida de rampas e aclives.
2. A resistência do ar na movimentação do veículo (arraste aerodinâmico).
3. Resistência de rolagem, dos pneus sobre as vias de rodagem.

Consequentemente, há duas formas gerais de reduzir o consumo de combustível:

(1) Aumentando a eficiência geral do trem de potência (motor, transmissão, etc) com a intenção de disponibilizar mais trabalho com o combustível consumido ou, (2) Reduzir o trabalho requerido (peso, aerodinâmica, resistência de rolagem, carga agregada) para impulsionar o veículo. Vejamos a ilustração a seguir que representa o destino da queima de combustível usada num veículo.

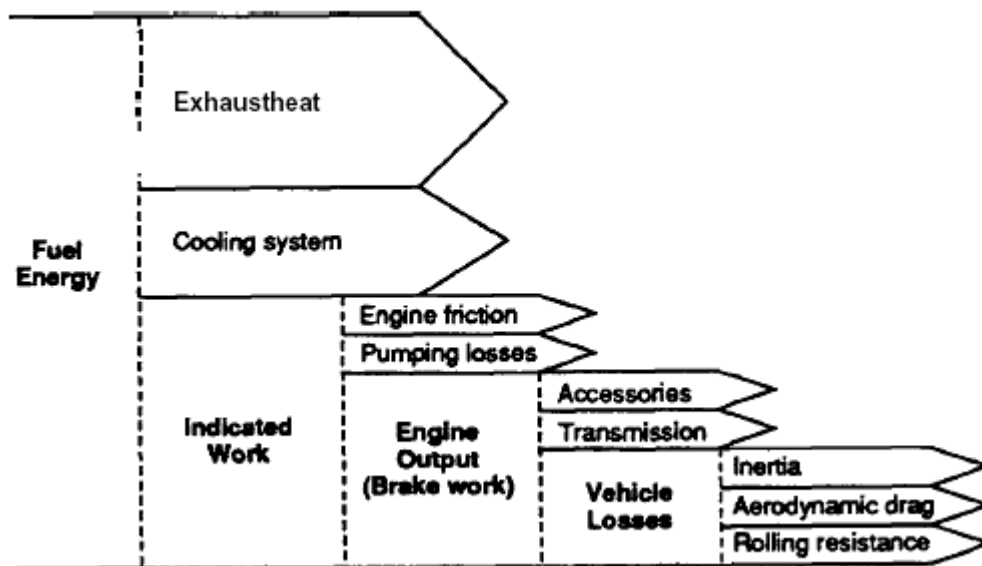


Figura 1: Onde é usada a energia de queima (proporções variam com o design do veículo, tipo de motor, e condições operacionais)

Fonte: NRC (2002)

Durante a condução pela cidade, condições como aceleração, rotação do motor, e o tempo gasto na frenagem ou repouso variam continuamente através de uma ampla faixa. Estas alternâncias resultam em uma grande mudança no consumo de combustível. Cargas inerciais e resistência de rolagem (ambas diretamente associadas ao peso), combinadas, são responsáveis por 80% da energia necessária para movimentar o veículo num circuito

urbano, mas este número cai em circuitos rodoviários. Uma redução no peso do veículo portanto tem um grande e significativo efeito no consumo de combustível na condução urbana.

Redução de peso do veículo portanto fornece um efetivo método para reduzir o consumo de combustível de carros e pickups e, pode ser tornar um importante objetivo para o Governo se a redução da dependência da economia ao petróleo externo ganhar relevância no balanço comercial. Reduzir a propulsão necessária para movimentar o veículo, significa reduzir a força do motor, permitindo o uso de motores menores entregando a mesma performance. Na busca por materiais mais leves, abre-se um espaço para os materiais de menor densidade que o aço, usado na maioria dos carros, e que ofereçam propriedades específicas⁸ similares ou superiores aos metais. Componentes e estruturas da carroçaria fabricados com alumínio, compósitos de polímeros reforçados com fibra de vidro, compósitos de polímeros reforçados com fibra de carbono e, estruturas híbridas estão sendo amplamente investigados nesta indústria.

Reduzir o peso do veículo sem reduzir o espaço disponível para os passageiros e a carga envolve 3 estratégias: (1) Substituição por materiais mais leves sem comprometer a rigidez estrutural (por exemplo, alumínio ou plástico no lugar do aço); (2) Melhorar a eficiência do “empacotamento”, isto é, redesenhar o trem de potência ou o interior do veículo para eliminar o espaço mal aproveitado e, (3) Mudanças tecnológicas que eliminam equipamentos ou reduzam seus tamanhos. A eficiência no projeto e sua efetivação podem também resultar em veículos mais leves, usando os mesmos materiais e mantendo o mesmo espaço para passageiros e carga.

⁸ Propriedade mecânica por unidade de peso

Podemos notar, através de dados disponíveis de consumo de combustível por peso do veículo, que a relação destes dois fatores se aproximam de uma correlação linear, apesar de haver dispersão ao longo desta linha, podendo tal relação ser inclusive usada como parâmetro de eficiência energética do veículo. A figura abaixo mostra a relação consumo (em galões/100 milhas) com o peso do veículo (em libras).

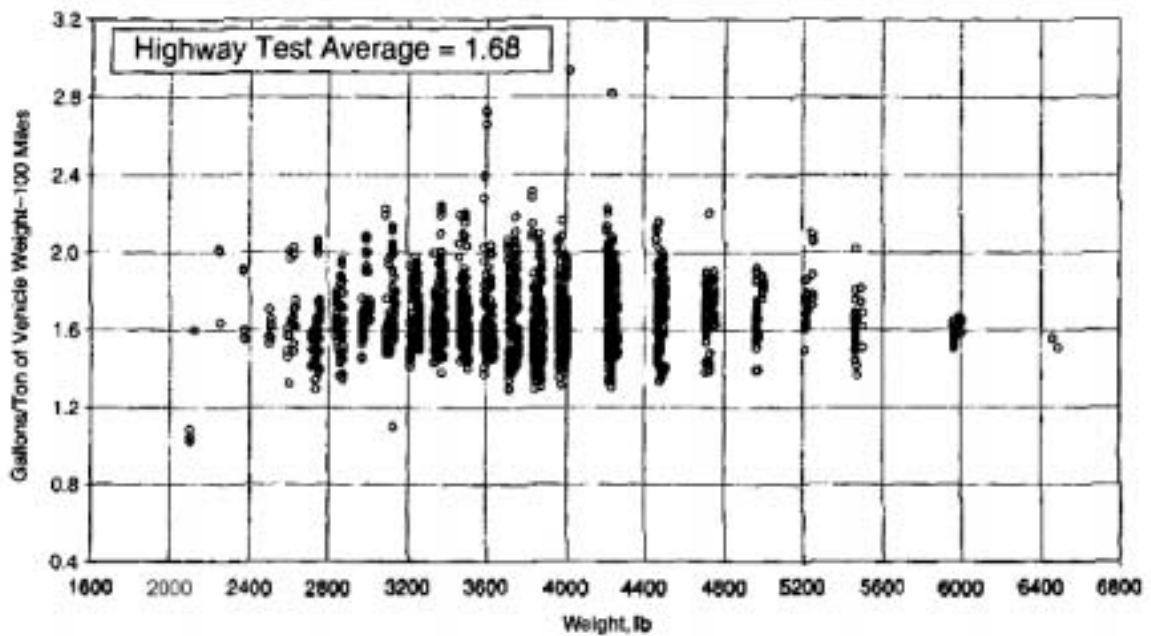


Figura 2: Dados sobre economia de combustível de carros e pickups ano-modelo 2000 e 2001. Fonte: EPA (Environmental Protection Agency, 2001) apud NRC, 2002, p34.

Mas qual é o ganho para o consumidor desta redução de peso?. A relação é direta mas nem sempre imediata. Pensando o bolso do consumidor, a redução de peso traz economias ao longo do uso do veículo que definitivamente não são desprezíveis. Por exemplo, um carro com autonomia de 10 km/l e percorre 25.000km por ano, consome 2500 litros de gasolina por ano. Aumentando a eficiência do veículo em 20% (de 10km/l para 12km/l) iríamos deixar de consumir aproximadamente 420 litros por ano. A um preço de R\$2,00/litro, teremos R\$840,00 por ano. Considerando um tempo de vida de 10 anos,

teremos R\$8.400,00 reais de economia em valores atuais, que é superior ao valor de mercado da maioria dos modelos nacionais com mais de 10 anos de vida.

Para um consumidor, dificilmente ele direcionará sua decisão pelo modelo de veículo que tem mais ou menos termoplásticos implementados. Em alguns casos, se não implementados de maneira otimizada ou suportadas em projetos bem dimensionados, o uso de termoplásticos, principalmente no interior do veículo, leva o cliente a percepção de um veículo de qualidade inferior, de menor valor agregado, quando na verdade em muitos casos, aqueles veículos vistos como de superior qualidade, tem a mesma ou até mesmo superior quantidade relativa de termoplásticos em sua composição. Como veremos na seção 3.1, projetos de peças plásticas traz vantagens nas fases de *design* e manufatura dos componentes que muitas vezes poderiam sequer serem cogitadas com o uso dos metais, devido às características intrínsecas de um ou outro material. Não vamos apontar qual material é melhor ou pior do que o outro, não temos neste estudo tal propósito, mas sim discutir as particularidades dos termoplásticos e em que situações podemos converter tais características em vantagens/benefícios para o consumidor final ou para o fabricante de veículos.

Se para o consumidor a percepção do aumento do valor com o aumento do uso de termoplásticos é algo intangível, ou menos direto, que busquemos então a utilização dos termoplásticos em componentes que reduzam o custo de fabricação, montagem ou custo de pós-venda, sem que haja uma depreciação do valor percebido do automóvel para o consumidor final.

E é esta frente que vamos explorar nos capítulos a seguir, para um dado componente automotivo (tal como um pára-lama). Qual a redução ou aumento do custo

sistêmico na substituição de uma peça em metal por uma peça feita em termoplástico? (desde que atendida os requisitos mecânicos definidos pelo fabricante).

3.1 Resultados tangíveis e Intangíveis do uso de termoplásticos

As vantagens econômicas (tangíveis ou não) com o uso de termoplásticos que podemos identificar, a partir deste exemplo, são:

3.1.1 Redução de até 50% do peso do componente

Esta redução vai depender do projeto do produto em termoplástico, que por sua vez depende da demanda mecânica e térmica do produto (neste nosso exemplo, a mecânica é determinante). Tal redução do peso vem da diferença de densidade entre o aço e o termoplástico. Para o componente em aço, podemos considerar que a espessura média da chapa tenha 0,75 mm; com uma densidade de $7,86 \text{ g/cm}^3$ temos um peso por área de $5,90 \text{ kg/m}^2$ de produto.

Com o uso do termoplástico, temos projetos já concebidos no mercado de 2,1 a 2,8mm de espessura. O material utilizado foi uma blenda de PPO (polióxifenileno) e PA66 (poliamida 6.6) com densidade de $1,08 \text{ g/cm}^3$. Na espessura menor (2,1mm), temos um peso por área de $2,27 \text{ kg/m}^2$; e na espessura maior (2,8mm) temos um valor de $3,02 \text{ kg/m}^2$. Tais alterações geram uma redução de peso por área de 62% e 49% respectivamente.

Um dos grandes fatores determinantes da espessura do componente em termoplástico tem haver com características de processamento do material. Materiais de mais alta fluidez (menor viscosidade) permitem espessuras menores nos produtos; por outro lado, materiais com menor fluidez (maior viscosidade), exigem espessuras maiores. Estes aspectos estão relacionados com as características reológicas do material no estado fundido e o processo termodinâmico de troca de calor do material termoplástico, com o ferramental (construído geralmente em aço). Recursos termo-mecânicos dos mais diversos estão disponíveis do mercado para contornar tais limitações, porém não iremos abordá-los nesta nossa discussão.

Outro fator também importante é a dimensão do componente. Pela mesma razão mencionada acima, peças maiores (mais extensas) requerem maior espessura para sua viabilidade técnica em processo, conseqüentemente peças menores viabilizam espessuras inferiores.

Aspectos de performance mecânica do produto acabado também influenciam o projeto do produto. Dado os requisitos de desempenho esperado pelo cliente final e pelas normas vigentes, determina-se o dimensionamento do produto através da tradução e quantificação destes requisitos. Análises computacionais e testes em protótipos validam antecipadamente o atendimento da demanda técnica do item.

3.1.2 Liberdade de Design

Peças de aço estampadas é o material mais utilizado nos componentes externos e estruturais nos dias atuais, entretanto suas características físicas e comportamento durante

o processo de estampagem determinam algumas limitações tecno-econômicas de *design* do produto. Especialistas em componentes estampados conhecem estas limitações e já, durante a concepção 3D do produto (CAD) pela Engenharia de Produto, traduzem estas características através de guias técnicos e melhores práticas para o desenvolvimento de peças estampadas.

Algumas destas limitações mencionam: raios mínimos, razão de estiramento máxima, ângulos de cunhagem, etc. Tais limitações de processo estabelecem conseqüentemente limitações de produto, que podemos estender para limitações de *design*.

Quando falamos em “Design”, estamos nos referindo as formas, raios e curvaturas do componente que integram a parte externa e interna do veículo. Aspectos estes que são perceptíveis pelo consumidor final e, dessa forma, normalmente usadas pelos fabricantes como fator de atratividade visual, na tentativa do aumento do volume de vendas e/ou *market share*.

Os termoplásticos também impõem limitações ao projeto do produto devido às suas características de processo; no entanto, não são as mesmas limitações que o metal estampado apresenta. No ponto de vista do *Design*, o material termoplástico oferece muito mais flexibilidade e liberdade de estilo. Tal fato reside nas características do processo usado para confecção destas peças plásticas, o processo de injeção termoplástica.

Como mencionado no capítulo 2.1.1., o processo de injeção consiste na submissão de um material na forma viscosa para o interior de uma cavidade. Dá-se o resfriamento do material, tem-se o produto acabado. Portanto a criticidade técnica na concepção de peças injetadas está na viabilidade técnica da concepção da ferramenta (molde de injeção). Por isso, quanto mais complexo é o produto final, maior será o custo da ferramenta de injeção. Contudo, um aumento da complexidade do produto geralmente ocasiona aumento em

qualquer ferramenta, mesmo se a opção for uma peça estampada; não necessariamente na mesma proporção.

3.1.3 Redução no Investimento em Ferramentas.

A substituição de metal por plástico, significa trocar um produto estampado que normalmente requer 5 a 6 prensas hidráulicas e 5 a 6 conjuntos de ferramentas de estampo, por uma máquina injetora de termoplástico e uma ferramenta de injeção.

No processo de estampagem, cada etapa (prensa+estampo) é responsável por uma parte da concepção do produto. Por vezes, consegue-se executar consolidar duas etapas em uma única fase; contudo, a menor qualidade final obtida e a estabilidade dimensional do componente, resultado de tal operação, restringem a aplicabilidade do recurso. A resposta do material metálico pós-estampado conhecido como efeito-mola (spring back) obriga o engenheiro de processo a criar etapas intermediárias na estampagem para a manutenção da conformação executada em etapas anteriores.

O processo metálico, em maior número de estampos e prensas, requer um investimento em ferramentas superior comparado ao processo em termoplástico. Mesmo considerando que na média, o custo de uma prensa é inferior ao custo de uma máquina injetora, e uma ferramenta de estampo (mais simples) tem um custo inferior à um molde de injeção, o investimento em estampagem é superior ao correspondente em termoplástico.

Por isso, a análise econômica da substituição de metal por plástico deve contabilizar esta redução no custo do investimento, para não comprometer o resultado geral da análise. Tal fato será considerado no capítulo 3.3.

3.1.4 Integração de peças

Outro potencial ganho para o custo de produto com a mudança metal-plástico é a redução do número de peças. Maior número de peças representa, ferramentas e máquinas adicionais, estações de trabalho adicionais, processo adicional de montagem (homem-hora e área ocupada) e mais itens para inventário. Área ocupada pelo inventário de peças também é um custo carregado no produto final e é alvo em processos de otimização fabril.

Dizemos que o componente plástico permite a redução de componentes porque o projeto do produto e da ferramenta podem incorporar os componentes menores dentro dos componentes principais. Exemplos desta consolidação podemos citar: elementos de fixação, elementos articulados integrados no próprio produto, pinos plásticos, parafusos plásticos integrados, elementos de montagem rápida (item de processo), etc.

3.1.5 Resistência ao dano e baixa taxa de seguro⁹

O produto que estamos analisando trata-se de um pára-lama frontal, peça que fica sobre a roda do veículo, e que numa colisão frontal provavelmente é afetada. Agências na Europa constataram que para o modelo Peugeot 307, o uso de termoplástico no pára-lama fez com que a classificação do seguro para este modelo caísse 2 níveis devido ao menor dano sofrido na parte frontal do veículo, e conseqüentemente, ao menor custo de

⁹ Apesar de não conseguirmos obter uma quantificação desta redução com CESVI Brasil, é de comum o entendimento no mercado de reparação que, em colisões menores, um pára-lama em termoplástico sofre menores danos que uma similar peça metálica, do ponto de vista de reparação. Assim o custo do seguro deve ser influenciado por tal conclusão, a longo prazo e considerando a disseminação do uso do termoplástico nestes componentes.

reparabilidade. Em pequenas colisões (até 2,5km/h), a versão do componente (pára-lama) em metal não sofreu nenhum dano permanente. Já a 4km/h, o mesmo componente teve que ser trocado devido aos danos permanentes sofridos (informação verbal).¹⁰

O mesmo componente feito em termoplástico, em temperatura superior a 20°C, não sofreu danos permanentes em velocidades de colisão até 15km/h. Para temperaturas inferiores a -20°C, tal velocidade limite foi de 5km/h. O teste representava o impacto lateral da cabeça de um pedestre na simulação de um atropelamento.

3.1.6 Menor tempo de desenvolvimento.

Apesar do menor investimento em ferramentas reportado no capítulo 3.1.3., o tempo de desenvolvimento de novos componentes em termoplásticos também é inferior, se comparado com o tempo de desenvolvimento de um sistema de produção do item metálico. Mesmo contando com a superior complexidade do sistema em termoplástico, a etapa de fabricação do molde de injeção é inferior (considerando a mesma quantidade de recurso humano investido). Tempos inferiores de desenvolvimento representam menor tempo de resposta ao mercado e um diferencial competitivo importante. O tempo de lançamento para produção é menor, uma vez que temos menos ferramentas para serem validadas dentro do processo. Estima-se que a redução no tempo de desenvolvimento seja de 40 a 50% (informação verbal).¹¹

Outro aspecto importante é a facilidade da adaptação para novos modelos de veículos e o baixo custo da mudança no produto quando sua fabricação é feita em

¹⁰ Rappelt, T. Custo de Seguro. Apresentação interna da GE Advanced Materials. 2004

¹¹ General Motors. Brasil. Dados internos de desenvolvimento. 2002

termoplásticos. A indústria automotiva cria modelos para uma vida de mercado em média de 4 anos. Passado este período, as vendas ao mercado do modelo perdem força devido ao desgaste da atratividade do modelo e, por pressão da concorrência.

Um recurso utilizado pela indústria automotiva global (OEM's) é a incorporação de pequenas mudanças, normalmente de pequena amplitude e baixo custo, geralmente limitadas ao exterior do veículo. O termo utilizado para esta operação é *face-lift* (maquiagem). Com isso, espera-se agradar/fidelizar os clientes atuais do modelo, evocando-os a adquirir o modelo novo mais atual. Financeiramente, tal operação representa um retorno importante caso consiga-se manter o nível de vendas do modelo em patamares satisfatórios, uma vez que o peso da depreciação de ferramentas sobre o custo do veículo, passados 5 anos, começa a cair continuamente.

Como isto é uma prática bastante disseminada, por vezes projeta-se ferramentas de injeção já antevendo tais mudanças futuras. Dessa forma, viabiliza-se o aproveitamento de ferramentas já existentes, reduzindo o custo e tempo de desenvolvimento significativamente.

Quando isto não é possível, é factível que analisando as limitações impostas pelas ferramentas correntes, determina-se quais alterações podem ser feitas que possam impactar positivamente no apelo visual do produto final, adotando-se portanto o processo inverso.

3.1.7 Diferenciação da Marca

O impacto que a utilização de termoplásticos traz para a marca é consequência da percepção do consumidor final, isto é, se é sinônimo de inovação tecnológica ou da

diferenciação através da adoção de *design* arrojado que agradam o público. Outros resultados como menor custo de reparabilidade, menor custo de seguros, redução de peso e, conseqüentemente, redução do consumo de combustível, também podem ser contabilizados desde que o consumidor final seja “treinado”, através da mídia ou do treinamento da força de vendas nas concessionárias, a perceber estes valores não tão imediatos e que trazem um benefício ao bolso do cliente.

3.1.8 Reciclabilidade

Não diferente dos metais, os materiais termoplásticos podem ser reciclados, levando a redução da pressão da escassez de matéria-prima como o petróleo e outros materiais não-renováveis. O automóvel é o símbolo da sociedade de consumo, desenvolver um sistema de reciclagem de automóveis usados terá não só um valor em si em termos de aproveitamento de insumos, mas um grande impacto simbólico do caminho a ser seguido por outros setores.

A reciclagem de peças plásticas acontece também internamente dentro da cadeia produtiva. Peças que não atendem os requisitos mínimos de qualidade, são imediatamente trituradas e inseridas novamente no processo de obtenção de novos componentes. Uma limitação à reciclagem em produção que as peças termoplásticas sofrem hoje em dia é quando o produto recebe algum acabamento posterior tal como a pintura. Economicamente o custo do processo para segregar o acabamento a base de poliuretano ou acrílico da peça plástica é alto e não tem sido justificável frente ao custo da matéria-prima plástica

“perdida”. Entretanto, tais resíduos servem de matéria para a fabricação de outros componentes, sejam eles da própria indústria automotiva ou não.

“[...] a Ford, por exemplo, usa sapatas de pedais e forrações de estribos a partir de pneus reciclados [...]” (Gazeta Mercantil, 18/11/96). A Fiat fabrica peças de canalização de ar de determinados veículos com as toneladas de pára-choques constituídos de polipropileno. A Scania garante que os caminhões por ela produzidos atualmente são 90% recicláveis.

Mas, como exposto no começo deste tópico, a reciclagem não é exclusiva dos materiais plásticos. Entretanto, talvez devido ao materiais plásticos estarem tão presentes no dia-a-dia do consumidor final, em artigos de consumo, embalagens, alimentos, eletro-eletrônicos, eletrodomésticos, etc.; é muito comum o plástico ser associado mais facilmente a idéia da reciclagem. Tal sentimento contribui para a imagem de um produto (carro) ecologicamente amigável, sem se aprofundar muito nos custos desta reciclagem.

3.2 Premissas, fontes e parâmetros utilizados na Viabilidade Econômica

Nesta análise reduziremos nosso escopo de leitura, olharemos somente a manufatura do componente, porém em toda sua amplitude e detalhamento. Na fabricação do componente consideraremos todos os sub-processos relevantes para a obtenção final do componente, seja ele em metal (aço, alumínio), termoplástico (de engenharia e *commodity*) e, termofixo (SMC – *Sheet Molding Compound*). Dessa forma, não deixaremos de fora operações secundárias tais como lixamento, preparação, limpeza, acabamento, retrabalho,

pintura etc. Todas as máquinas, ferramentas, dispositivos e recursos utilizados nestas fases estarão representados financeiramente através de custos-médio hora-máquina médios vigentes na indústria, assim como o custo da mão-de-obra investido nestes processos ou eventualmente investimentos em máquinas/equipamentos. Todos os valores foram obtidos diretamente no mercado, através de departamentos especializados em tais processos e, através de fornecedores de máquinas, equipamentos e insumos plásticos.

Como estamos analisando a viabilidade econômica da substituição de metal por plástico, o processo prevê a necessidade do reprojeto do produto para sua concepção em termoplástico. Neste reprojeto ocorrem grandes oportunidades de redução do custo do sistema através da consolidação de um ou mais componentes metálicos em uma única peça plástica (redução de elementos de fixação, suportes, etc).

Somente com relação ao peso do produto (densidade do plástico é aproximadamente 7 vezes menor que do metal), podemos entender que a troca de matéria-prima poderia eliminar a necessidade de dois operadores no manuseio e montagem do produto na carroçaria, por exemplo. Por questões ergonômicas, um só operador poderia dar conta da tarefa sem comprometer a segurança do posto de trabalho.

Entretanto, para não tornar a análise muito complexa, não consideraremos estas alternativas de redução de custo. A análise se limitará aos impactos mais diretos tais como: a necessidade ou não de um equipamento novo, de uma linha de pintura exclusiva, questões relacionadas ao custo de reciclagem das peças *scraps*, etc.

Cinco alternativas de materiais distintos foram consideradas: blenda de PPO/PA, polipropileno reforçado com elementos fibrosos, cargas minerais e elastoméricas, Aço como atualmente utilizado na estampagem de peças externas, Chapas de liga de Alumínio

para estampagem e, SMC (Sheet Molding Compound) material termofixo com alto percentual de elementos de reforço (fibras longa de vidro).

O termoplástico de engenharia, blenda de PPO/PA condutiva, é o que se encontra em alguns modelos de veículos já em circulação no mercado, principalmente em modelos europeus. Renault e Peugeot têm modelos com tal material. Trata-se de um termoplástico de alta performance térmica (~200C) que suporta a temperatura das estufas de pintura atualmente em operação no mercado. Além da sua resistência à temperatura, o material oferece condutividade elétrica ao nível satisfatório para a adoção da pintura eletrostática. Esta característica do material permite a redução de perdas de pintura e a não necessidade da aplicação de *primer* de aderência, muito comum na pintura de outros materiais termoplásticos e com impacto significativo no custo do processo.

As propostas consideram um alinha de injeção e de prensas já instaladas ou a situação de locação do serviço de processamento¹². Para as alternativas SMC e PP, considerou-se a necessidade de investimento de uma linha de pintura paralela para executar a pintura (pintura *off-line*).

A análise completa, como pode ser vista em detalhes no apêndice A, considera um período de vida de 4 anos e uma produção estimada de 100.000 veículos por ano. Tal produção representa, por exemplo, o volume de vendas 2004 para o recém lançado Fox da VW no mercado, ou o valor total de vendas do modelo Ecosport da FORD em 2004. Como podemos constatar, trata-se de um volume de produção para veículos de grande saída no mercado brasileiro, porém inferior ao volume de venda nacional de um modelo popular (na faixa de 200 a 250 mil unidades/ano).

¹² Pois investimentos para compras de máquinas injetoras para plásticos ou prensas para estamparia não serão consideradas.

Para considerar também as oportunidades do capital, adotaremos o valor de 20% anuais, que se aproxima muito da atual taxa básica de juros SELIC de 19,75%. Posteriormente, mediremos como se comportam os custos para as 5 alternativas e para diversos níveis de produção, varrendo de 40.000 à 280.000 veículos ano.

Como a indústria automotiva, de equipamentos e insumos correlacionados têm suas referências baseadas no dólar, apresentaremos o estudo em dólares norte-americanos. Assim, reduzimos a dependência do modelo com a inflação local, preservando o resultado da análise por mais tempo.

3.3 Resultados de Custo e Determinação do “Break-even”

O apêndice A, mostra detalhadamente a simulação de custo para as alternativas mencionadas. O custo final da peça é composto praticamente por 7 componentes, são eles:

- Custo do Material
- Custo do Processo
- Custo de Pós-processamento
- Custo de Pintura
- Custo de Montagem
- Custo de Transporte
- e, Custo de Investimento.

Custo do Material: todo material direto usado, mais as perdas de produção que não são reaproveitadas. O cálculo considera as particularidades dos processos usados para cada um dos materiais.

Custo do Processo: custeio de MO, equipamentos, manutenção, máquinas, dispositivos, utilizados para a obtenção da peça final.

Custo de Pós-Processamento: representa os retrabalhos, operações secundárias (exceto pintura), executadas na peça.

Custo de Pintura: considera todos os custos relacionados a preparação do produto e aplicação dos revestimentos (*primers*, tintas, vernizes) no processo de pintura.

Custo de Montagem: considera os processos de montagem do subconjunto para posterior montagem do item na carroçaria.

Custo de Transporte: todo o manuseio de produto durante o processo produtivo, assim como os equipamentos e veículos necessários.

Custo de Investimento: representa a amortização do investimento em máquinas e dispositivos necessários para viabilizar o projeto. Este investimento é amortizado ao longo da vida estimada do projeto.

A seguir, vemos o “parcelamento” do custo total para cada fase do projeto. Contata-se que a solução em termoplástico de engenharia (PPO/PA) oferece praticamente o mesmo custo que a mesma solução em aço, para uma produção estimada de 100.000 veículos por ano. O Alumínio apresentou um custo superior, porém inferior às alternativas

em PP e SMC. O gráfico ainda permite observarmos a etapa que cada alternativa que mais contribui para o custo final. Podemos ver por exemplo que o material, na alternativa Alumínio, é o responsável pela maior contribuição no custo. Olhando no detalhamento (apêndice A), constatamos que não é o preço por quilo, nem a quantidade de material utilizada no produto que inviabiliza a alternativa, mas sim a quantidade de Alumínio consumida no processo que não é usada para confeccionar a peça (recortes e rebarbas). Mesmo com a alta taxa de reaproveitamento, o baixo custo do Alumínio no retorno ao processo afeta a viabilidade da alternativa.

O menor investimento no processo de PPO/PA (ferramentas) pode ser visto através do menor carregamento do custo por peça, comparativamente ao aço. Para as alternativas SMC e PP, os “vilões” são o custo de pintura, logística e investimento. Como visto anteriormente, a necessidade de processos adicionais de pintura encarece a alternativa pois o investimento e a logística adicionais são diluídos no custo da peça.

Importante lembrar que tal resultado é completamente dependente das condições consideradas na análise, tornando completamente necessária a reavaliação caso alguns destes fatores sejam alteradas.

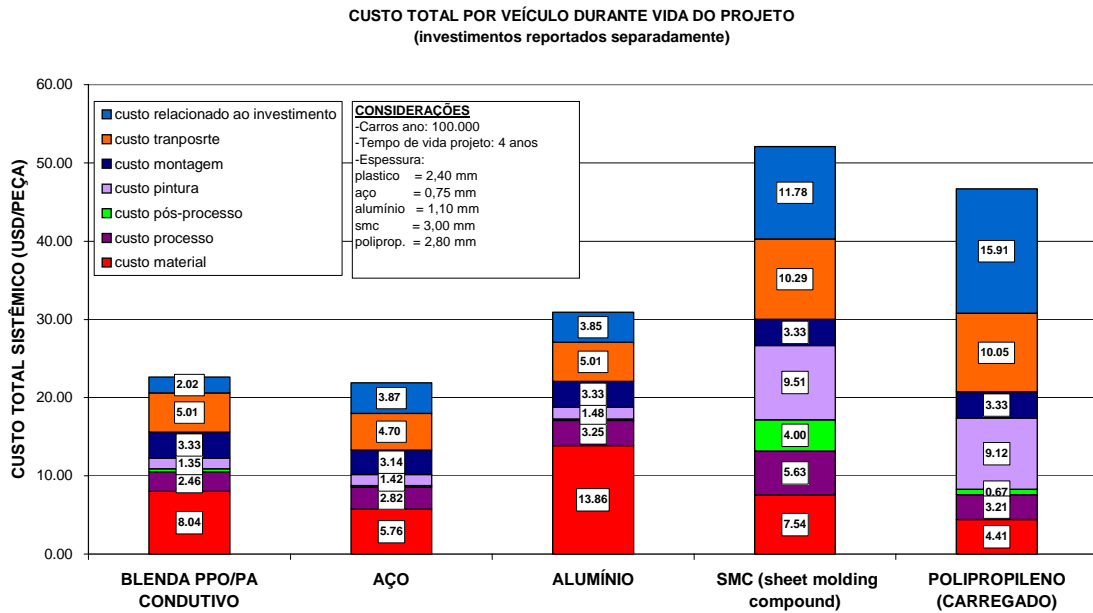


Figura 3.: Análise de custo sistêmica para um pára-lama feito em PPO/PA, Aço, Alumínio, SMC e Polipropileno. Amortização do Investimento alocado separadamente para cada alternativa.

Também podemos ver que o custo do investimento em pintura para as opções (SMC e Polipropileno) é relativamente alto e, simboliza a inviabilidade econômica destas alternativas na figura 4. Vamos considerar neste momento uma determinada montadora de veículos que já possua uma linha de pintura “off-line” bem amortizada em sua planta; neste caso a parcela de custo correspondente ao investimento desta linha de pintura não mais participará da análise de custo, tornando as alternativas SMC e PP bem mais atrativas.

Mais uma vez vemos as operações secundárias (pós-processo) acrescentar custos no produto, para as alternativas SMC e PP. Vale lembrar que estamos analisando um alternativa em termoplástico que, devido a sua condutividade, pode usar o mesmo sistema de pintura atualmente utilizadas para as carroçarias. Dessa forma, dispensando a necessidade de linhas paralelas de pintura (off-line) e contribuindo para a manutenção do custo do produto próximo a alternativa em aço.

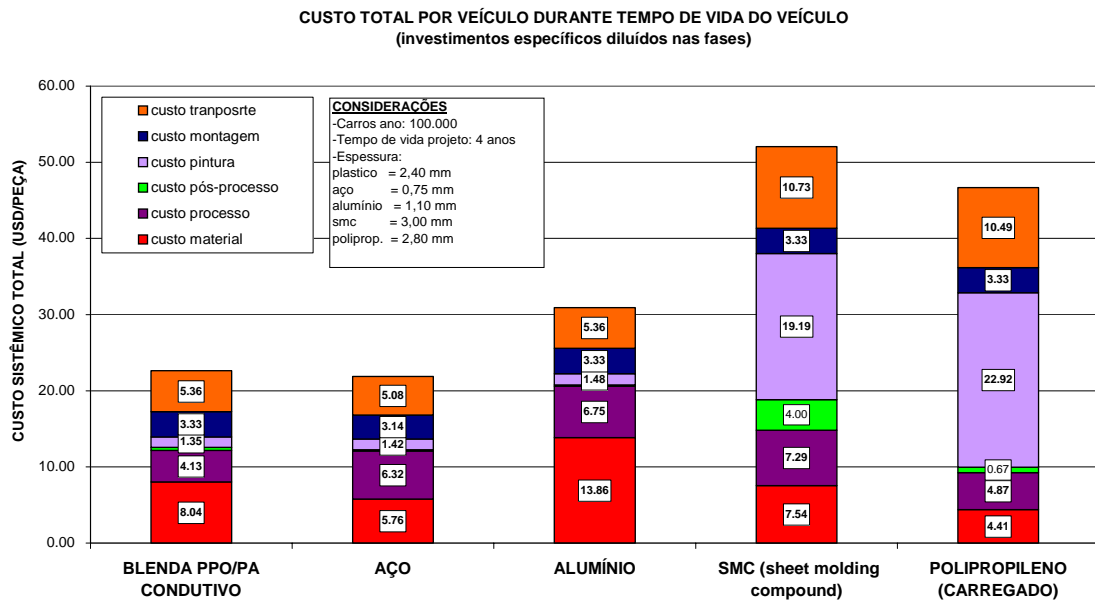


Figura 4.: Análise de custo sistêmica para um pára-lama feito em PPO/PA, Aço, Alumínio, SMC e Polipropileno. Investimento necessário diluído no custo da respectiva etapa do processo.

Mas este resultado varia conforme as condições de produção e com os custos internos considerados para cada uma das fases. Variando unicamente a quantidade de veículos produzida por ano, identificamos graficamente a existência de um volume no qual os custos das duas melhores alternativas se igualam, abaixo do qual a alternativa em plástico apresenta um menor custo. Como pode ser visto na figura abaixo, este volume está em torno de 60.000 a 80.000 veículos por ano. Abaixo de 60.000 veículos ao ano, a alternativa em termoplástico apresenta um custo inferior que ao atual conceito em aço. Já para volumes superiores a 80.000 unidades/ano, a solução em aço é mais viável economicamente.

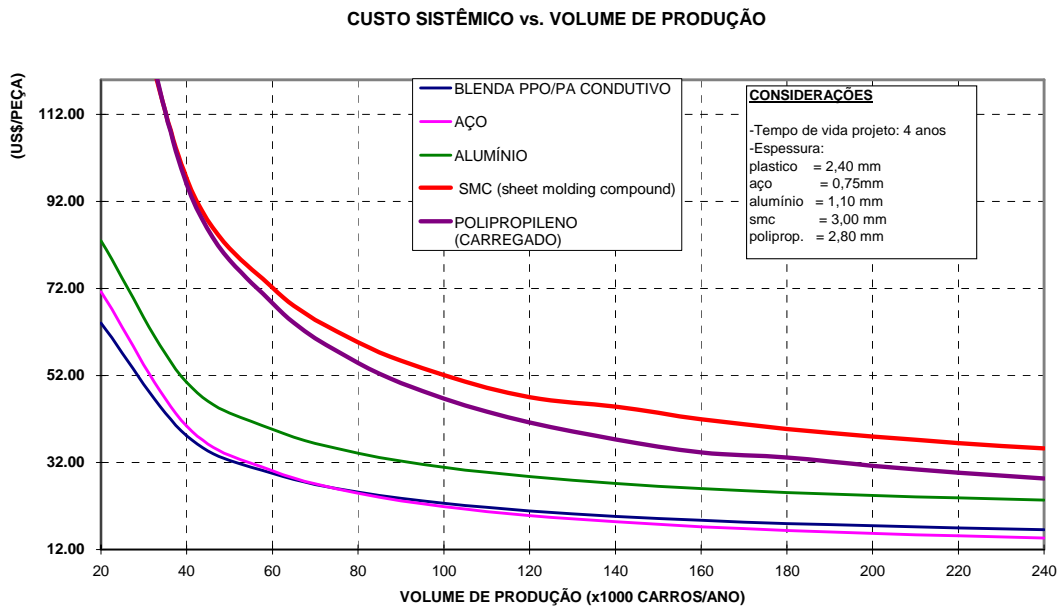


Figura 5: Custo Sistêmico versus Volume de Produção anual.

Também constatamos que para pequenos volumes, as alternativas em SMC e PP são proibitivas. Para volumes maiores, o custo da opção Polipropileno tende a se tornar mais vantajosa e se aproximar do custo da opção Alumínio.

Em geral, no mercado local, dificilmente vemos nossos fabricantes vendendo mais que 100.000 unidades ano de um certo modelo. Uma das poucas exceções é o modelo Palio (FIAT) que, somadas todas as variantes da linha (pois usam o mesmo pára-lama dianteiro), venderem 185.000 veículos em 2004 (ANFAVEA, 2004).

Com este resultado, podemos constatar que a resistência à adoção de termoplásticos, na substituição de metais em peças de carroçaria, reside em fatores diferentes da viabilidade econômica da alternativa em plástico.

4 ANÁLISE AMBIENTAL

4.1 Informações Gerais sobre o Ciclo de Vida dos Produtos no Impacto Potencial do Efeito Estufa

A terra absorve radiação do sol, principalmente na sua superfície. Essa energia é então redistribuída para a atmosfera e oceanos e re-erradiana para o espaço em comprimentos de onda mais longos. Parte da radiação térmica é absorvida pelos gases “greenhouse” (podemos chama-los de “gases estufa”) na atmosfera, principalmente vapor de água, mas também dióxido de carbono (CO₂), metano, os CFC’s (clorofluorcarbonos), ozônio e outros “gases estufa”. A energia absorvida é re-erradiada em todas as direções, para baixo assim como para cima, tanto que a radiação que é eventualmente dissipada para o espaço vem de camadas mais altas e frias da atmosfera (Ferraz, 1998). O resultado é que a superfície perde menos calor para o espaço comparado a perda na ausência dos “gases estufa” e, conseqüentemente, permanece mais quente do que ela poderia estar. Este fenômeno, na qual atua mais como uma “manta isolante” sobre a Terra, é conhecido como “Efeito Estufa”.

O efeito estufa é um fenômeno natural. O que é novidade é que o efeito estufa têm aumentado devido às emissões antropogênicas. O aumento geral na temperatura pode alterar as temperaturas atmosféricas e oceânicas, em que pode potencialmente levar à alterações na circulação e nos padrões do tempo. Um aumento no nível do mar é também previsto devido à expansão térmica dos oceanos e descongelamento das placas de gelo polares.

Há relevantes razões para que a nação considere políticas intervencionistas para a redução de consumo de combustível através da redução do peso da frota veicular. Carros e caminhonetes nos Estados Unidos por exemplo são responsáveis por praticamente 20% do total de emissão anual de CO₂ naquele país; considerando que os Estados Unidos são responsáveis por 25% da emissão global deste elemento por ano, estes veículos são responsáveis por 5% da emissão mundial anual (NRC, 2002). Dessa forma, a redução de consumo de combustível da frota dos carros de passageiros e pickups teria um impacto relevante na emissão global de CO₂.

Esta preocupação tem sido ponderada por uma série de relatórios da IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001 apud NRC, 2002)¹³ que é um grupo dos mais preparados cientistas do mundo sobre o tema. O relatório de 2001 sugere que:

- Concentrações atmosféricas de CO₂, e outros gases estufa estão continuamente crescendo;
- A temperatura média da superfície da Terra tem aumentado significativamente nos últimos 100 anos;
- Uma relação casual provavelmente existe entre os fatores (1) e (2);
- O aumento continuado de emissões de CO₂ pode levar ao aquecimento global, que teria conseqüências adversas sérias para a vida animal e vegetal na Terra.

Vejamos outros gases liberados na atmosfera e seus efeitos a saúde da sociedade:

¹³ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge University Press, 2001.

POLUENTES	PRINCIPAIS FONTES	EFEITOS NA SAÚDE
Monóxido de Carbono (CO)	Veículos	Liga-se à hemoglobina e diminui a oxigenação do sangue. Causa tonturas e vertigens. Causa alterações no sistema nervoso central. Doentes cardíacos são considerados o grupo mais sujeito aos efeitos do CO.
Dióxido de Enxofre (SO₂)	Indústrias e veículos a diesel	Provoca coriza, catarro e danos irreversíveis aos pulmões. Em doses altas pode ser fatal.
Ozônio (O₃)	Ação da luz solar sobre os hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio, resultantes do processo de queima de combustíveis, principalmente de veículos	Causa envelhecimento precoce. Diminui a resistência às infecções. Provoca irritação nos olhos, nariz e garganta.
Material Particulado (MP)	Veículos a diesel, desgaste de pneus e freios de veículos em geral	Agrava quadro alérgico, de asma e bronquite. Pode provocar câncer. Causa Infecções gripais. Causa doenças respiratórias ou do coração.
Hidrocarbonetos (HC)	Queima incompleta e evaporação dos combustíveis (álcool, gasolina e diesel)	Responsáveis pelo aumento da incidência de câncer no pulmão. Provocam irritação nos olhos, nariz, pele e aparelho respiratório.
Aldeídos	Veículos	Provocam irritação dos olhos, nariz e garganta. Podem provocar câncer.
Óxido de Nitrogênio (NO₂)	Processo de combustão em geral, veículos	Podem provocar desconforto respiratório, diminuição da resistência à infecções e alterações celulares.

Figura 6: Gases e materiais particulados presentes na atmosfera e seus danos a sociedade.
Fonte: Buíssa, 2001

Economia de combustíveis vem atraindo atenção pública e governamental de uma forma não vista por quase duas décadas. O preço da gasolina tem subido vigorosamente e flutuado imprevisivelmente. Evidências também despertam que a mudança global climática deve ser levada de forma séria, uma vez que carros e caminhões são responsáveis por uma fração considerável da emissão anual mundial de dióxido de carbono.

Um estudo executado pelo Conselho de Pesquisa norte-americana (NRC, 2002), com o intuito de ajudar a elaboração de políticas do Congresso norte-americano; assim como auxiliar os agentes da comunidade científica a determinar se, e como, a criação de metas de economias de combustíveis deve ser alterada para atender os novos padrões ambientais; servirá de base para as discussões deste tópico, pois analisa o impacto das regulamentações sobre os veículos, o uso da energia, emissões dos “gases estufa”; a indústria automotiva e o setor público.

O crescimento do uso de termoplásticos nos veículos nas últimas duas décadas, em parte parece ter sido alavancada pelo interesse em componentes veiculares mais leves, o que tem se tornado mais crítico a medida que montadoras buscam a melhoria da eficiência energética de seus veículos.

Tomemos como base um estudo da Ecobalance (2001) para a American Chemistry Council em 2001, que teve como objetivo quantificar o impacto da utilização de materiais mais leves no consumo de combustíveis e na emissão de poluentes pelos automóveis. O referido estudo ainda mostra o impacto ambiental que a produção que tais resinas oferecem, tal qual a manufatura dos seus componentes e finalmente, a disposição da peça ao meio ambiente no fim da vida do veículo.

Um outro estudo precedente da NRC (1992 apud NRC, 2002)¹⁴ examinou os efeitos da redução de peso de peças levando em consideração informações mais complexas e completas do ciclo de vida do componente. Mais especificamente, o estudo buscou a identificação do ponto de equilíbrio para o ciclo de vida do produto, determinado pelo ponto onde as emissões resultantes da produção da peça plástica são iguais às reduções de emissão promovidas pela diminuição dos pesos dos automóveis. Esta análise demonstra o balanço entre os impactos negativos devido a produção do material plástico e os benefícios ambientais que são obtidos durante o uso do produto.

Embora a análise esteja centrada em uma peça específica, generalizações podem ser feitas e obter conclusões mais abrangentes. A análise adota uma abordagem global olhando para o veículo completo, e foi desenhada para determinar o benefício potencial de componentes mais leves no veículo através do uso de plásticos. Dessa forma, estudo defende a redução de peso promovida pelos plásticos, e não os tipos de materiais que o plástico pode substituir em tais aplicações.

A análise ambiental identifica os parâmetros que podem ser resumidos em 4 categorias (Ecobalance, 2001):

- Material: a produção das diversas resinas plásticas que representam o total de plásticos usados nos componentes dos veículos
- Fabricação: os diferentes processos de fabricação dos produtos.
- Veículo: características que podem influenciar nas emissões (por exemplo, consumo de combustível, peso do veículo, fatores de emissão de escape, etc.)

¹⁴ NRC (National Reserch Council). Automotive Fuel Economy. How Far Should We Go?. Washington, D.C. National Academy Press, 1992.

- Componente: parâmetros específicos da peça como peso e tempo de vida, e como estes parâmetros são comparados com a peça feita com material alternativo

Um automóvel genérico utiliza diversos materiais na composição das peças que o compõem, sejam eles metálicos, plásticos, cerâmicos, elastoméricos. Só considerando os materiais poliméricos, a participação de tais materiais na composição do peso do carro pode chegar a 15%.

Plastic Resin	Mass (kg) in Vehicle	Mass (%) in "Plastic Part"	Cumulative Percentage	Compounding	Processes Used
Polyurethane (PUR)	35	24.5%	24.5%	-	BM, IM, M, RIM
Polypropylene (PP)	25	17.4%	41.9%	Filler	BM, CM, E, IM, M
Polyvinyl Chloride (PVC)	20	14.3%	56.2%	Filler, Plasticizer	C, E, IM, M
Polyester Resin	11	8.0%	64.2%	-	E, W
Polyamide (PA 66)	10	7.2%	71.4%	-	E, IM, M
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)	9.7	6.8%	78.2%	-	E, IM, M
Polyethylene (PE)	6.2	4.3%	82.6%	-	E, IM, M
Acetal	4.7	3.3%	85.9%	-	IM, M
Polycarbonate (PC)	3.8	2.6%	88.5%	-	IM, M
Acrylonitrile Butadiene Styrene-Polycarbonate blend(ABS-PC)	2.8	2.0%	90.5%	-	IM
Acrylic Resin	2.5	1.7%	92.2%	-	IM, M
Polyethylene Terephthalate (PET)	2.2	1.5%	93.7%	-	C, CM, IM
Polyphenylene Oxide-Polystyrene blend (PPO-PS)	2.2	1.5%	95.3%	-	IM
Polypropylene (PP, fusa)	1.7	1.2%	96.5%	-	IM
Polyamide (PA 6)	1.7	1.2%	97.7%	-	BM, IM, M
Phenolic Resin	1.1	0.77%	98.43%	-	IM
Epoxy Resin	0.77	0.54%	98.99%	-	-
Polyamide-Polycarbonate blend (PA 6-PC)	0.45	0.32%	99.30%	-	IM
Polybutylene Terephthalate (PBT)	0.37	0.26%	99.56%	-	IM, M
Thermoplastic Elastomeric Olefin (TEO)	0.31	0.21%	99.78%	-	IM
Acrylonitrile Styrene Acrylate (ASA)	0.18	0.13%	99.91%	-	M
Polypropylene-Ethylene Propylene Diene Monomer blend (PP-E)	0.10	0.072%	99.98%	-	IM
Polyphenylene Oxide-Polycarbonate blend (PPO-PC)	0.025	0.018%	99.995%	-	IM
Polystyrene (PS)	0.0067	0.0047%	100.0%	-	M
	142.6928	100.0%			

BM = Blow Moulded CM = Compression Moulded
 CA = Cast Moulded IM = Injection Moulded
 C = Compressed RIM = Reaction Injection Moulded
 E = Extruded W = Wax

Figura 7: Materiais Plásticos utilizados em um carro genérico norte-americano. Valores absolutos e percentuais

Fonte: USAMP/LCA (1998¹⁵ apud Ecobalance, 2001, p.4)

¹⁵ USAMP/LCA (United States Automotive Partnership / Life Cycle Assessment Special Topics Group). Life Cycle Inventory of a Generic U.S. Family Sedan: Overview of Results USCAR AMP Project. USAMP, 1998.

Este trabalho realizado sugere que a redução de peso de um veículo com a utilização de componentes mais leves (feitos em plásticos) tem um impacto direto no consumo de combustível, uma vez que o consumo de combustível é diretamente dependente da massa do veículo. No mesmo raciocínio, reduzindo a quantidade de combustível necessária para a movimentação do veículo, uma redução na emissão de poluentes é esperada ao meio ambiente.

O escopo do modelo considerado pelo trabalho em referência, como comentado anteriormente, engloba desde a concepção da matéria-prima plástica, sua transformação, seu uso e, por fim, seu descarte. A figura extraída abaixo mostra os limites deste estudo.

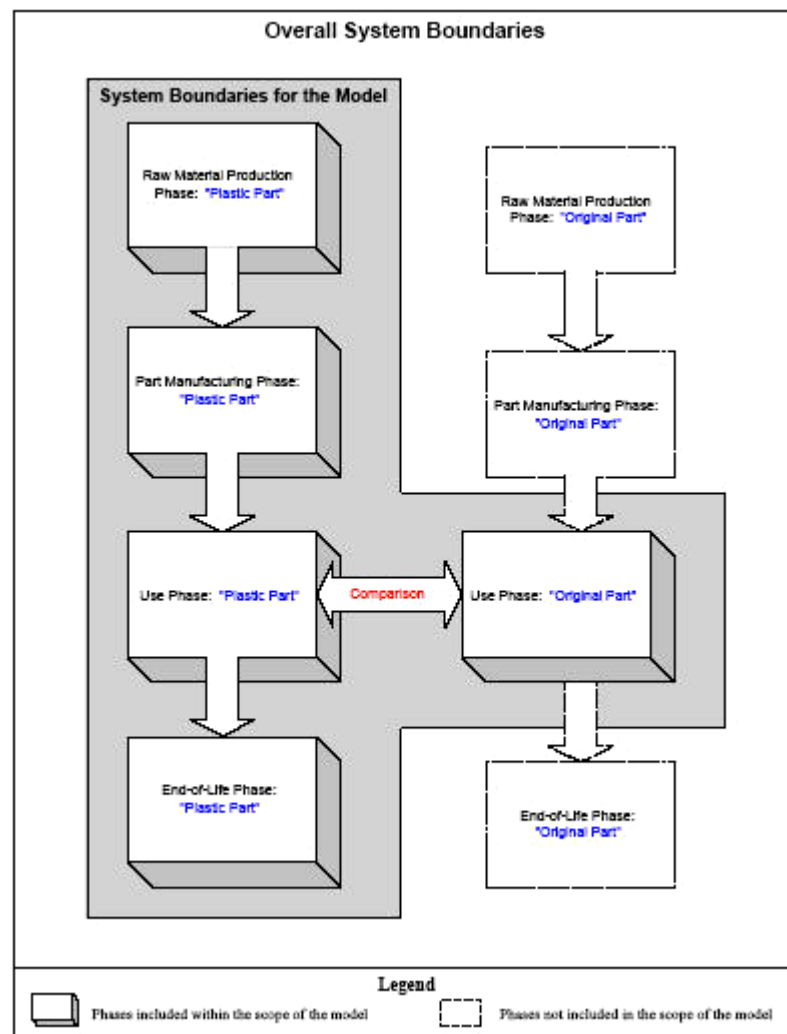


Figura 8: Esquema do limite abordado na metodologia “Cycle Life Assessment”
 Fonte: Ecobalance, 2001, p.6.

O autor (Ecobalance, 2001), criou uma correlação do peso da peça plástica com o consumo de combustível e com a emissão de gases na atmosfera. As fases de Produção de matéria-prima Plástica, assim com a Manufatura da Peça Plástica, consomem energia e geram poluentes ao longo dos respectivos processos que precisam ser considerados quando da decisão pelo uso de uma peça plástica no veículo. Um ponto de equilíbrio tem que ser encontrado entre os benefícios da redução de peso através do uso de termoplásticos (medidos pela redução no consumo de energia, combustível, e emissão de poluentes) e, os

malefícios energéticos e ambientais da produção destes materiais termoplásticos (fabricação e transformação).

Durante o Uso do Veículo, há a emissão de poluentes pelo escapamento durante toda a vida do produto. Os poluentes são: CO, NO_x, NMHC, CH₄, N₂O e CO₂. A análise elaborada pela Ecobalance (2001) considera que o consumo médio de combustível segue a seguinte equação:

$$F = (0,55 * C + 0,45 * H) \quad \text{Equação 1}$$

Onde: F= Autonomia de combustível média (km/l)

C= Autonomia de combustível na cidade (km/l)

H= Autonomia de combustível na estrada (km/l)

Analisar o resultado de emissões de poluentes de um veículo ao longo da vida do produto, significa considerar as variadas situações de manutenção e performance que o veículo apresentará ao longo dos anos. Considerando uma rodagem de 200.000 quilômetros (média de 20.000 km/ano em 10 anos) o veículo passará por desgastes de componentes que afetarão diretamente a emissão de poluentes na atmosfera.

A entidade EPA (Environmental Protection Agency, 1998 apud Ecobalance, 2001) executou testes para medição de poluentes em veículos com 4.000, 50.000 e 100.000 milhas (~6.500, 80.000 e 160.000 quilômetros rodados), obtendo um perfil médio de

emissão através da ponderação da quilometragem rodada¹⁶. O resultado é a tabela apresentada a seguir.

<i>Emission</i>	<i>Units</i>	<i>On-Cycle</i>	<i>Evaporative</i>	<i>Off-Cycle</i>	<i>Malfunction</i>	<i>Total</i>
Carbon Monoxide	g/mi.	1.29	--	2.4	5.0	8.69
Hydrocarbons	g/mi.	0.56	0.37	0.036	0.4	1.37
Nitrogen Oxides	g/mi.	0.53	--	0.1	0.6	1.23
Methane	g/mi.	0.048	--	--	--	0.048
Nitrous Oxide	g/mi.	0.046	--	--	--	0.046
Carbon Dioxide	g/gal	7,854	--	--	--	7,854

Figura 9: Emissões em gramas/milha dos principais gases liberados pelo automóvel.
Fonte: Ecobalance, 2001 p.12

Conforme explicações do autor, as emissões “Evaporative” de Hidrocarbonetos são devido à transferência de calor do motor e à permeabilidade aos vapores. Emissões “Off-Cycle” são devido a condução do veículo em condições fora dos procedimentos padrões de teste e; emissões “Malfunction” são devido às falhas no sistema de controle de emissões e má performance do motor.

Vemos que neste estudo, considerou-se que somente o CO₂ (“Carbon Dioxide”) é dependente do consumo de combustível, todos os outros gases dependem somente da milhagem rodada. Portanto, as emissões destes outros gases não são afetados pela redução do consumo de combustível (ou peso do veículo).

O efeito da redução de peso nos veículos pode ser abordada conforme Ecobalance (2001):

“[...] the premise that only a portion of the fuel used by a vehicle is due to the weight of the vehicle tested the effect of lightweighting on vehicle fuel economy. The remaining fuel use is due to other factors (e.g. rolling

¹⁶ US EPA (United States Environmental Protection Agency). Federal Emission Test Summary Sheets: National Vehicle and Fuel Emission Laboratory. Ann Arbor, 1998.

resistance and drag) which are expected to be independent of weight within the weight reduction range of this study. Once the relationship between the mass of the vehicle and fuel consumption was determined, weight reductions were assumed to cause a linear decrease in fuel use.[...]"

O modelamento deste comportamento está reproduzido abaixo.

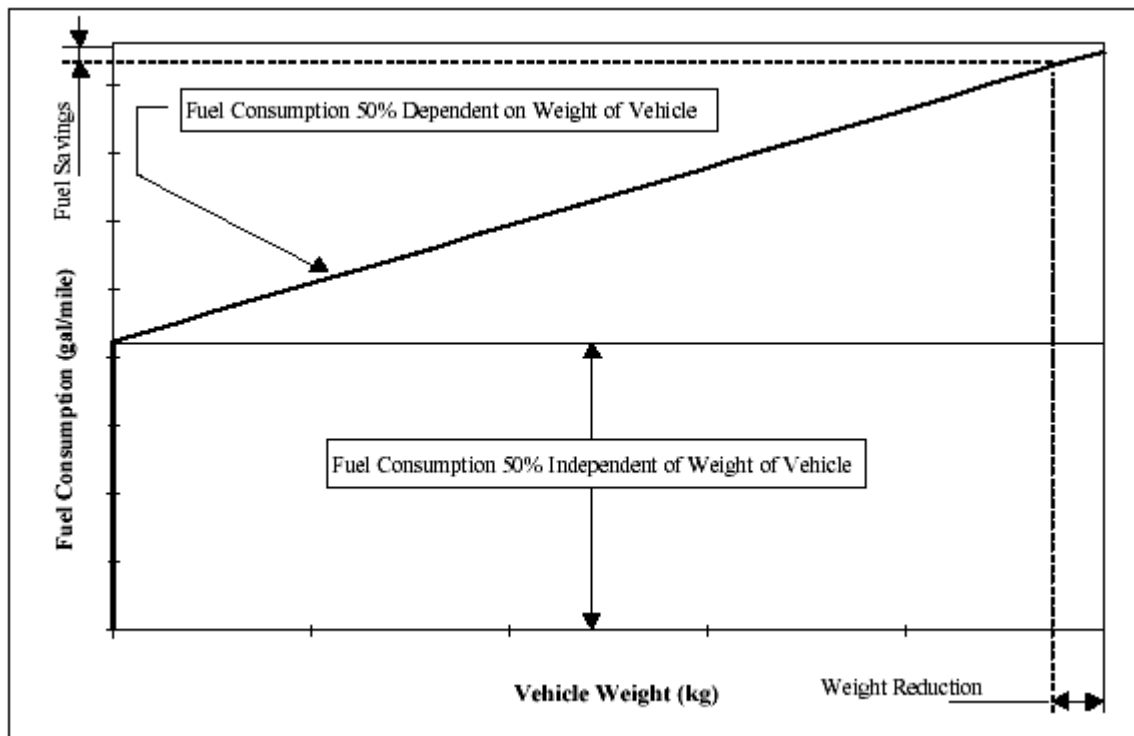


Figura 10: Modelamento do Consumo de Combustível por um Veículo
Fonte: Ecobalance, 2001.

O gráfico mostra que o consumo de combustível foi definido como 50% dependente do peso do veículo. Esta premissa é conservadora, uma vez que esta dependência pode chegar a 66%, devido a benefícios secundários da redução do peso do veículo. (Stodolsky, 1995apud Ecobalance, 2001)¹⁷

¹⁷ Stodolsky, F. Lightweight Materials in the Light Duty Passenger Vehicle Market: Their Market Penetration Potential and Potential Impacts. Argonne Labs, 1995.

O consumo de combustível por peça, ao longo do tempo de vida do produto, foi equacionada então pela Ecobalance (2001):

$$F_p = F * M_L * D_F * \left(\frac{W_p}{W_v} \right) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

F_p : Combustível alocado na peça ao longo da vida do produto (litros)

F : Consumo de combustível médio (l/km ou l/milha)

M_L : Quilometragem percorrida ao longo do tempo de vida do produto (km ou milha)

D_F : Dependência de Consumo de combustível com o peso do veículo

W_p : Peso da peça em questão (kg)

W_v : Peso do veículo (kg)

Com os dados da figura 9, pode-se calcular o impacto que uma determinada peça tem sobre a emissão de CO₂ ao ambiente. Porém, para os outros gases que não são dependentes diretamente do consumo de combustível, mas sim da quilometragem percorrida, temos a equação abaixo:

$$E_p = E * M_L * \left(\frac{W_p}{W_v} \right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

E_p : Emissões alocadas na Peça ao longo da vida do produto (gramas)

E : Emissões de um determinado gás (gramas/km ou gramas/milha)

M_L : Quilometragem percorrida ao longo do tempo de vida do produto (km ou milhas)

D_F : Dependência de Consumo de combustível com o peso do veículo

W_p : Peso da peça em questão (kg)

W_v : Peso do veículo (kg)

O descarte das peças plásticas, no final da vida do produto, pode requerer algum tipo de energia, tal como eletricidade para movimentar os trituradores ou algum impacto ambiental se colocado em aterros ou incineradores. Tal impacto foi previsto pelo estudo da Ecobalance e é representada pela fase EOL (end-of-life).

Vejam os resultados apresentados pela entidade que calcula o impacto ambiental da produção de aproximadamente 150kg de plástico que é usado no veículo e, o retorno ambiental promovido através da redução de poluentes devido ao menor consumo de combustível (pois veículos mais leves, consomem menos combustível, e geram menos CO_2).

A análise considera que, se um carro de 1500kg (possuindo 150kg de plásticos) não tivesse aplicado tais materiais em seu acabamento, isto é, continuasse utilizando materiais como o aço, promoveria uma penalidade no peso do veículo adicional de 150kg ou 300kg (se considerarmos que um 1kg de plástico substitui 2 ou 3kg de metal respectivamente)¹⁸.

¹⁸ Importante lembrar que em nosso caso prático (capítulo 3), a análise econômica para substituição de metal por plástico no pára-lama do veículo, a relação de pesos finais das peças em metal e plástico foi 2, reforçando a premissa que 1kg de plástico substitui 2 kg de aço. Esta relação sempre dependerá do projeto do produto e dos materiais utilizados na análise.

As duas colunas da direita representam o acréscimo na emissão de poluentes caso os termoplásticos não fossem utilizados nos veículos. Uma considera que 1 kg de plástico substitui 2 kg de aço, e a outra, 1 kg de plástico substitui 3 kg de aço.

Também podemos constatar que este “break-even” ambiental é superado em pelo menos em duas vezes (se consideramos 1kg de plástico substitui 2kg de metal)

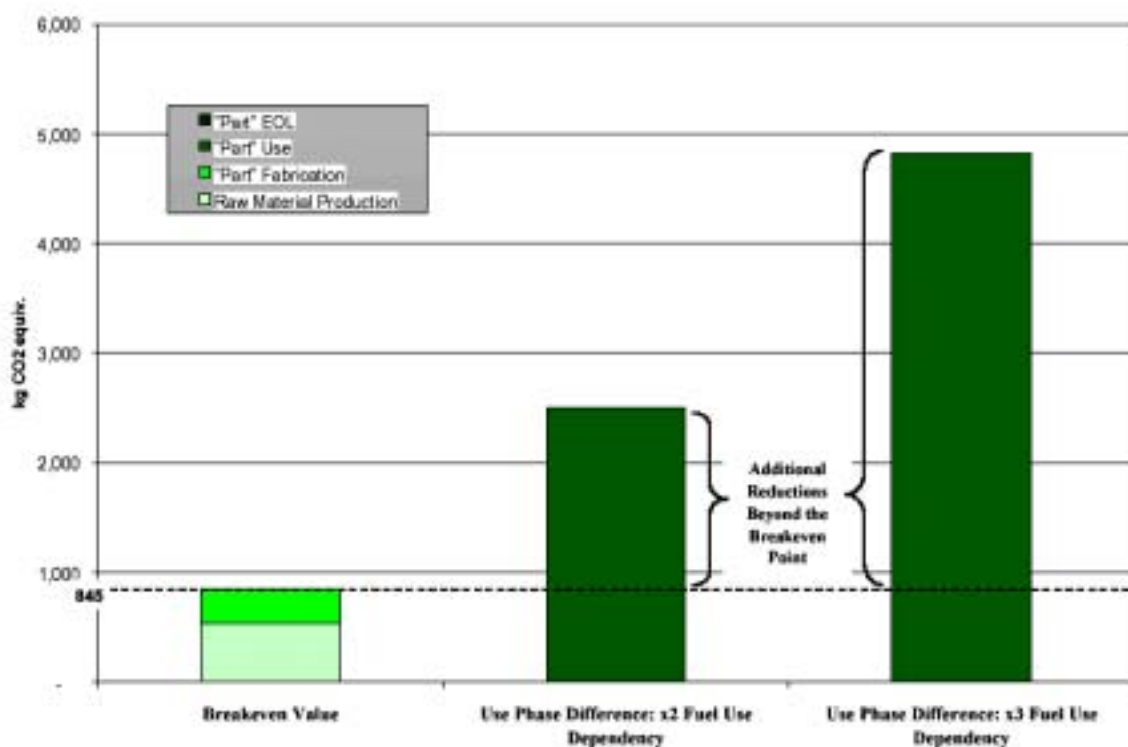


Figura 11: Emissão de CO₂ equivalente em kg. Colunas x2 e x3 representam as situações que 1kg de plástico substitui 2kg e 3kg de aço respectivamente (kg).

Fonte: Ecobalance, 2001.

O maior impacto da redução de peso vem da redução da emissão de CO₂. A tabela abaixo¹⁹ mostra a redução da emissão de 1645 kg de CO₂ por um veículo ao longo de sua

¹⁹ Ecobalance, 2001

vida (200.000km), devido a substituição de 150kg de aço por plástico. Se considerarmos a relação 3 para 1, esta redução sobe para ~4tons de CO₂ equivalente.

<i>Part Type</i>	<i>Raw Material Production</i>	<i>Part Fabrication</i>	<i>Part Use</i>	<i>Part EOL</i>	<i>Total</i>	<i>Δ</i>
"Plastic Part" x2, x3	530	310	2,720	5	3,565	–
"Original Part" x2	0	0	5,210	0	5,210	1,645
"Original Part" x3	0	0	7,540	0	7,540	3,975

Figura 12: Efeito do uso do termoplástico nas diversas fases da análise. Comparado com as versões em aço. Em kg de CO₂
Fonte: Ecobalance, 2001.

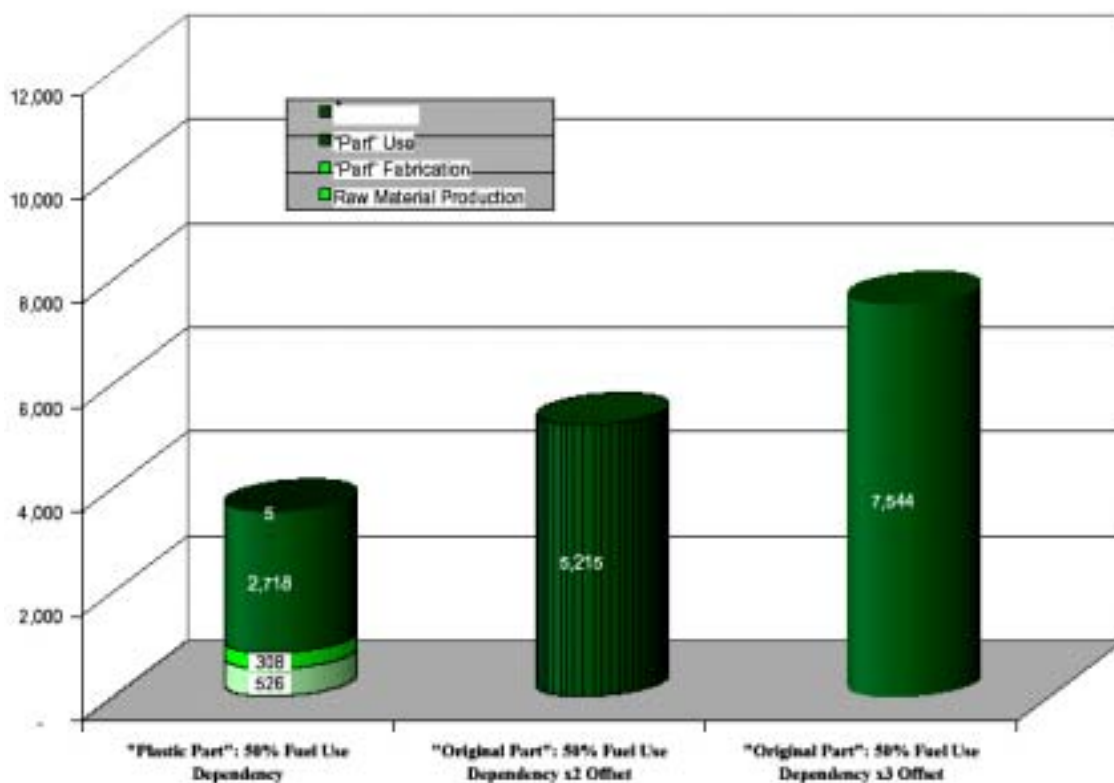


Figura 13: Efeito do uso do termoplástico nas diversas fases da análise. Comparado com as versões em aço. Em kg de CO₂
Fonte: Ecobalance, 2001.

Aplicando estas equações e parâmetros em nosso modelo (pára-lama), teremos conseqüentemente uma redução da emissão de poluentes devido a redução de peso do veículo. A análise conduzida no capítulo 3 nos mostrou que a substituição de metal por plástico em um pára-lama gera uma redução de 2 kg por peça, considerando os dois lados, temos uma redução de peso de 4 kg por veículo.

Suponhamos que o pára-lama e estudo seja de um veículo modelo Astra da General Motors (Astra GL 1.8 8V), cujo peso é de 1150 kg e o consumo declarado é de 7,8 km/l na cidade, e de 11,8 km/l na estrada. Aplicando a equação 1, temos um consumo médio de 9,60 km/l. (ou 0,10 l/km)

Com a equação 2, calculamos a parcela de combustível utilizado, ao longo da vida do veículo (200.000 km), considerando que o consumo de combustível seja 50% dependente do peso.

$$F_p = F * M_L * D_F * \left(\frac{W_p}{W_v} \right) \quad \text{Equação 2.}$$

Aplicando a equação acima e os dados da figura 9 , chegamos ao valor de 36,2 litros de redução no consumo de combustível dedicado aos pára-lamas. Isto corresponde a uma contenção de 75,2 kg de CO₂ que deixou de ser liberado no ambiente por um veículo ao longo de sua vida.

Considerando que nossa frota circulante é de, aproximadamente 24 milhões de veículos em 2005, e que na média, um veículo percorra 20.000 km por ano, teríamos uma redução na emissão de 180 mil toneladas de CO₂ por ano, numa situação hipotética em que todos os carros da frota nacional brasileira adotassem o conceito do pára-lama em termoplástico.

Aplicando a Equação 3, teremos também uma redução de 8900 tons de CO (monóxido de carbono), 1400 tons de Hidrocarbonetos, 1260 tons de NO₂, 49 tons de CH₄ e 47 tons de óxido nitroso.

Vemos com este pequeno exemplo que a contribuição individual de uma determinada medida por vezes parece ser insignificante, entretanto, quando analisamos toda a frota circulante de veículos, o resultado se torna muito expressivo.

Obviamente, nesta simulação não levamos em consideração a composição (idade) da frota de veículos, consideramos também que todos os veículos teriam características de peso e consumo de combustível semelhantes ao modelo usado (Astra), e que generalizamos uma quantidade de quilômetros rodados média de 20.000 km/ano.

De qualquer maneira, o objetivo foi apresentar uma noção do impacto que tais mudanças exercem ao meio ambiente e de que forma poderia contribuir com a qualidade de vida da sociedade.

5 ANÁLISE DE SEGURANÇA

5.1 Segurança Veicular e de Condutores

Em 1975, o “Committee on the Effectiveness and Impact of CAFE (Corporate Average Fuel Economy)” do Conselho de Pesquisa Nacional Norte-Americano, Washington, estabeleceu parâmetros e patamares para o consumo de combustíveis pelos automóveis, onde previa a adequação das indústrias nacionais à produção de veículos mais econômicos, no que diz respeito ao uso de combustível.

Como reflexo direto desta busca por veículos mais econômicos, a entrada de importados orientais no mercado nacional (USA), também impulsionadas pelas várias altas do preço do petróleo, houve um aumento no investimento por parte das montadoras norte-americanas em Pesquisa & Desenvolvimento para responder esta nova realidade. GM, Ford e Chrysler prontamente começaram a elaborar tecnologias que resultariam na maior autonomia dos seus modelos nacionais.

Em 1992 a NRC (National Research Council) publicou um relatório sob o título “Automotive Fuel Economy: How Far Should We Go?” alertando sobre o impacto negativo na segurança das pessoas devido aos projetos implementados nas duas décadas pós 1975 para a redução do consumo de combustível (atendimento das novas regulamentações). O relatório começa com a frase “Of all concerns related to requirements for increasing the fuel economy of vehicle, safety has created the most strident public debate”.

Este debate foi centrado na influência da massa e tamanho do veículo na melhoria da economia de combustível. Para um determinado *power-train* (trem de potência), a necessidade de combustível para transporte depende em parte da quantidade de massa que será movida, a que distância, em que velocidade, e contra quais resistências. A massa do veículo é crítica porque ela determina a quantidade de força necessária para acelerar o veículo a uma dada velocidade ou impulsioná-la contra uma colina ou rampa. O tamanho é importante porque ela influencia a massa (carros maiores normalmente pesam mais) e, em segundo plano, ele pode influenciar a aerodinâmica de um veículo, e portanto, a quantidade de potência necessária para manter o veículo em movimento em uma dada velocidade.

Dados históricos dos modelos comercializado nos EUA, mostram que a economia de combustível melhorou drasticamente nos carros entre os anos de 1970 e 1980, com pouca variação após 1988. Veja figura abaixo:

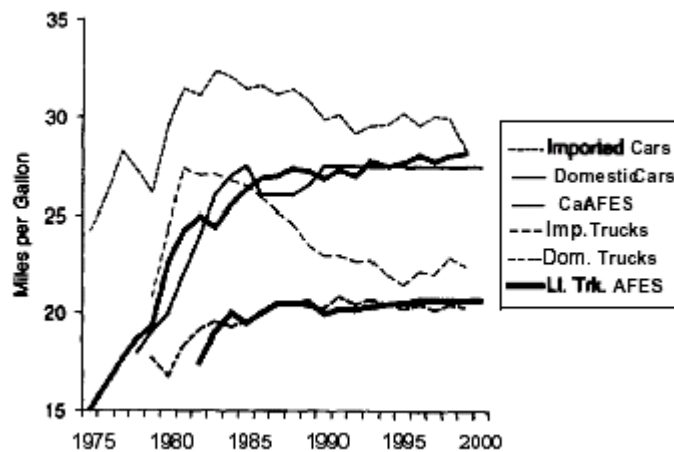


Figura 14: Consumo de Combustível dos Automóveis e Diretrizes CAFE para os fabricantes de automóveis.

Fonte: NRC (1992, apud NRC, 2002, p.17)

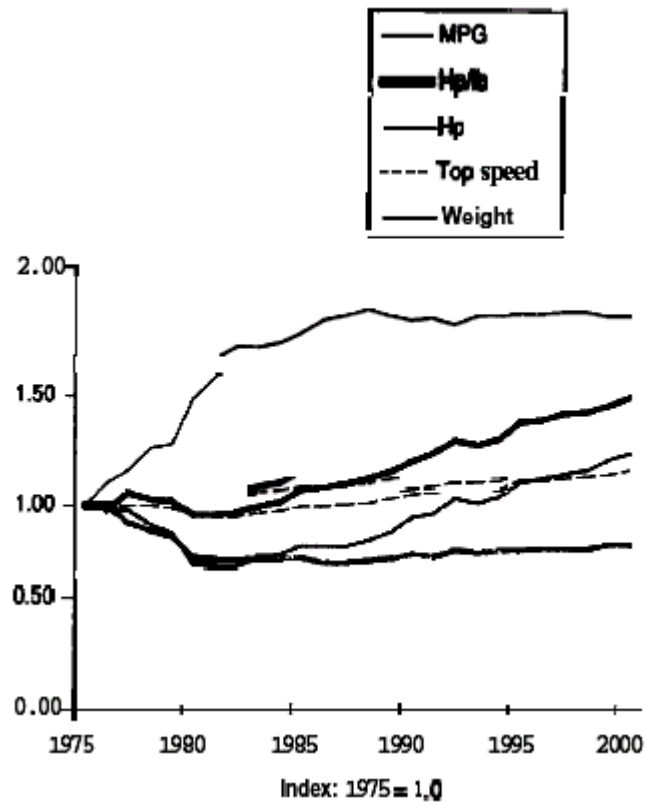


Figura 15: Tendências de atributos relacionados a economia de combustíveis em carros de passageiros. MPG (Milhas por Galão), HP/lb (Horse Power/libra), HP (Horse Power), Top Speed (Velocidade Máxima), Weight (Peso).

Fonte: EPA, 2000 apud NCR, 2002, p.17²⁰

Este aumento na economia de combustível foi acompanhada por um declínio no peso médio do carro e na distância entre-eixos dos veículos. Como segue:

²⁰ Environmental Protection Agency (EPA). Light-Duty Automotive Fuel Economy Trends 1975 through 2000. Michigan: Office of Air and Radiation, 2000.

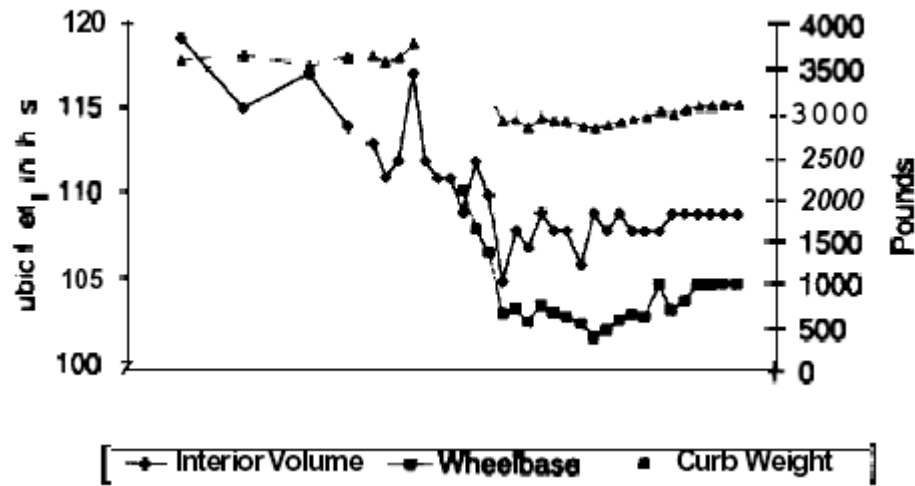


Figura 16.: Carros de passageiros: tamanho e peso (1975-2000). Modelos Comercializados nos EUA. Orientação - de cima para baixo: Peso, Volume interior e Distância entre eixos. Fonte: Kee, O., 200-? Apud NRC 2002.²¹

Desse modo, uma significativa parte do decréscimo no consumo de combustível da frota em 1988 comparada com 1975 pode ser atribuída à redução de tamanho da frota veicular.

O problema potencial para a segurança de veículos motorizados é que a massa do veículo e o tamanho variam inversamente não somente com a economia de combustível, mas também com o risco de lesões aos ocupantes nas colisões. Quando um veículo pesado colide com um objeto, é mais provável mover ou deformar um objeto do que com um veículo mais leve. Portanto os ocupantes do veículo mais pesado desaceleram menos rapidamente e por isso, tendem a sofrer menos lesões. Reduzir massa significa para os ocupantes dos veículo menor a submissão à forças de desaceleração mais fortes em colisões com outros veículos.

²¹ Kee, Orrin. Production-Weighted data from manufacturers fuel reports. National Highway Traffic Safety Administration. NHTSA, 200-?.

O tamanho do veículo também é importante. Extensas zonas de deformação fora do habitáculo do veículo, aumenta o espaço disponível para que veículos e ocupantes sejam desacelerados. Interiores mais amplos significa mais espaço para sistemas de absorção, efetivamente reduzindo o contato dos corpos dos ocupantes com a estrutura rígida do veículo.

Então, qual tem sido o efeito das mudanças na massa e tamanho do veículo e tamanho sobre a segurança no transporte por veículos automotores? A resposta para esta pergunta não tem sido unânime entre aqueles que já debateram a questão, e que discutiremos em parte neste capítulo.

Há basicamente duas abordagens para esta questão. Alguns analistas têm concluído que o efeito na segurança devido à redução de tamanho e peso tem sido negligenciada porque as lesões e fatalidades por milha (ou quilometro) veículo percorrida tem caído constantemente durante as mudanças na frota circulante norte-americana. A General Accounting Office (GAO, 1991 apud NRC, 2002)²² comunicou este parecer no seu relatório, argumentando que a redução de peso e tamanho presenciado naquela época resultou em nenhuma consequência na segurança, pois os engenheiros puderam compensar qualquer risco potencial. De acordo com este argumento, o fato da redução de peso-tamanho não ter levado à um grande aumento em lesões nas colisões no mundo real indica que não haveria uma queda na segurança associada com a redução de tamanho dos veículos, contrariando qualquer relação teórica ou empírica entre tamanho, peso, e segurança dos veículos num dado momento.

²² GAO (General Accounting Office). Highway Safety: Have Automobile Weight Reduction Increased Highway Fatalities?. Washington, D.C: GAO, 1991.

Contudo, esta interpretação tem sofrido mudanças, como indicado no relatório da NRC (1992 apud NRC, 2002, p.25)²³. O risco reduzido em viagens com veículos automotores durante a década passada é parte de uma tendência histórica de longa-duração, voltando pelo menos até 1950 (vejamos gráfico abaixo).

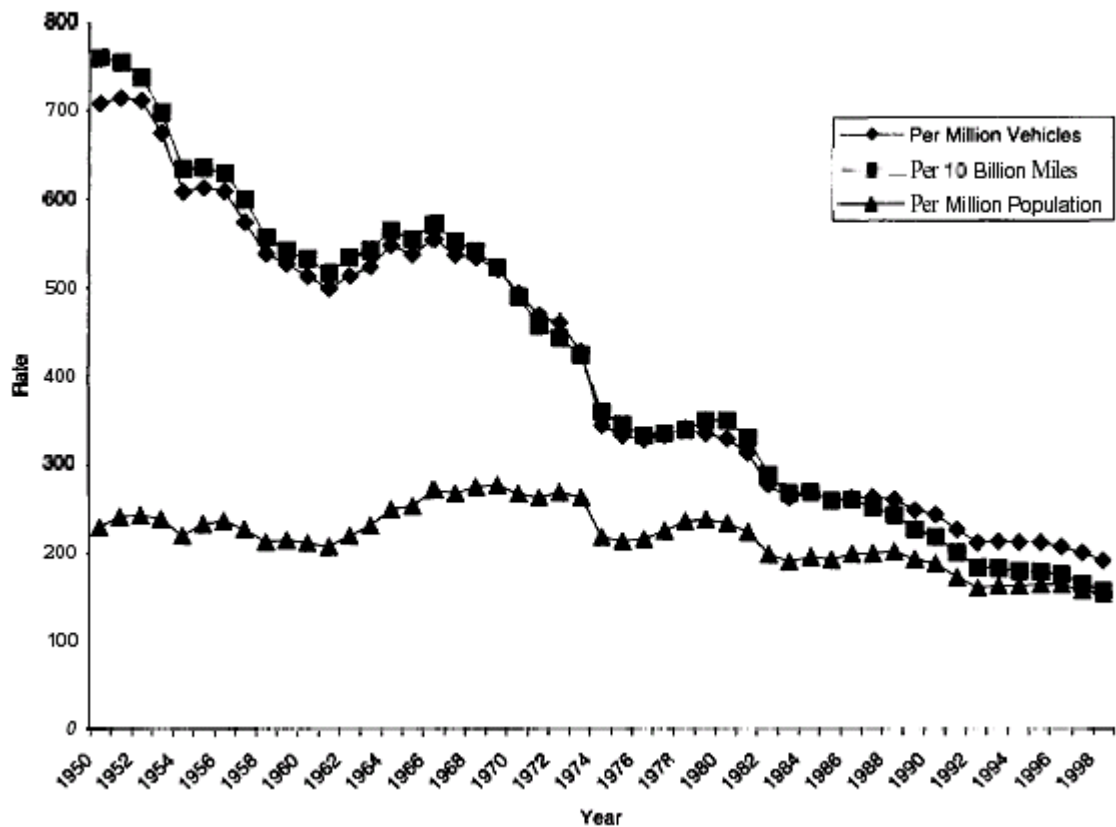


Figura 17: Índice de morte em colisões de veículos automotores, 1950-1998. Escopo: território dos EUA.

Fonte: National Safety Council, 1999 apud NRC, 2002.²⁴

²³ NRC (National Research Council). Automotive Fuel Economy. Washington, D.C: National Academy Press, 1992.

²⁴ National Safety Council. Injury Facts. Chicago: [s.n], 1999.

Segundo o relatório, a melhoria da segurança é o resultado de várias tendências interativas, e algumas vezes conflitantes. Por um lado, projetos melhorados de veículos, reduzida incidência de condutores alcoolizados, alta taxa de uso de cintos de segurança, e projetos de rodovias estão reduzindo os riscos por danos pessoais em colisões. Por outro lado, alto limite de velocidade, elevada potência, e habilitação para menores de 18 anos (caso dos EUA), entre outros fatores, estão aumentando os riscos de danos em colisões. Em resumo, os fatores que afetam tais riscos são tão amplos, com tantas variáveis, que torna difícil indicar se a redução de peso/tamanho tem aumentado ou diminuído a segurança no uso de veículos em rodovias.

Dessa forma, a mais apropriada pergunta não é se os riscos de danos numa colisão tem apresentado variações frente a redução de peso/tamanho dos veículos, mas sim, se a condução por uma rodovia numa situação em que uma frota circulante de veículos mais leves é menos segura do que uma situação contrária. Portanto, podemos nos questionar: Qual o aumento dos riscos a danos físicos causados em acidentes automotivos, se os consumidores optassem por veículos maiores, mais pesados dentro das opções disponíveis atualmente para eles?

O relatório da NRC (1992 apud NRC, 2002, p.26) reportou significativa evidência que a melhoria em segurança de condutores naquela época poderia ter sido maior se os veículos não tivessem sofrido reduções de tamanho/peso. Fazendo citação do relatório, as reduções que tem ocorrido no tamanho dos veículos de passageiros do modelo de 1970 a 1982 são associadas com aproximadamente 2000 fatalidades adicionais de ocupantes anualmente. Em outro estudo deste mesmo relatório, estimou-se que a taxa de fatalidade em carros modelo 1985 foram 14 a 27% mais altas devido a 500 lb (~230kg) de redução de peso impulsionadas pelos requisitos de economia de combustível estabelecidas pela CAFE.

5.2 Segurança Geral versus Segurança Individual

O Conselho de Pesquisa Nacional dos EUA também questionou a relação do risco entre um ocupante individual de um veículo mais leve e o risco que esta redução de peso traria para a sociedade como um todo.

Especificamente, o relatório questionava se estimativas sobre os efeitos da redução de tamanho dos veículos adequadamente considerou o efeito líquido do ganho para os ocupantes do carro mais pesado e as perdas de segurança que o aumento do peso impõe aos ocupantes do carro mais leve, assim como aos outros usuários da rodovia (pedestres, ciclistas e motocicletas). Em outras palavras, mais massa significa maior proteção para os ocupantes do veículo mais pesado, maior risco para os outros usuários da rodovia envolvidos na colisão (Ver capítulo 5.3)

Parte do aumento dos riscos dos indivíduos integrantes dos veículos mais leves/menores serão compensados pelo decréscimo de risco dos ocupantes dos veículos maiores/pesados. Entretanto, o relatório notou que havia insuficiente informação naquele momento sobre os danos aos usuários e, sobre as mudanças de tamanho e distribuição do peso da frota. Também foi notado que o aumento de vendas de veículos como utilitários (pick-up's, caminhões leves) que geralmente são maiores, mais pesados, seria um fator agravante do problema de incompatibilidade de colisão.

Dessa forma, NHTSA foi convocada a conduzir um estudo para obter dados mais completos sobre o impacto na segurança geral devido ao aumento de economia de combustível (redução peso/tamanho); e também a incorporar mais informações sobre o impacto do aumento de vendas de caminhonetes nesta segurança.

Em abril de 1997, a NHTSA (1997 apud NRC, 2002, p.27)²⁵ emitiu em relatório sobre sua pesquisa sobre este tema, assim como outras preocupações reportadas pelo relatório da NRC de 1992. Nesta nova pesquisa, o efeito sobre fatalidades e danos físicos devido a redução média de 100lb (aproximadamente 45kg) no peso do carro, ou no peso de caminhonetes, foi estimado. Seguindo a recomendação do relatório NRC 1992, a análise da fatalidade incluiria todos os usuários envolvidos nas colisões de carros e caminhonetes; excluindo aqueles acidentes onde mais de dois veículos fossem envolvidos ou outras situações muito raras. Já para análise dos danos físicos, o estudo foi mais limitado, considerando somente aqueles sofridos pelos ocupantes dos veículos envolvidos.

Mesmo assim, a análise de fatalidade da NHTSA é ainda a mais completa disponível em que considera todos os tipos de colisões, para todos os envolvidos no acidente. Esta análise também considera controles estatísticos por idade de passageiros, sexo do motorista, localização urbana/rural, assim como outros potenciais fatores de interferência.

Crash Type	Fatality Analysis		Injury Analysis	
	Cars	Light Trucks	cars	Light Trucks
Hit object	11.12	+1.14	+0.7	+1.9
Principal rollover	+4.58	+0.81*	NE	NE
Hit passenger car	-0.62*	-1.39	+2.0	-2.6
Hit light truck	+2.63	-0.54*	+0.9	—
Hit big truck	+1.40	+2.63	—	—
Hit ped/bike/motorcycle	-0.46	-2.03	NE	NE
Overall	+1.13	-0.26	+1.6	-1.3

²⁵ NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration). Relationship of Vehicle Weight to Fatality and Injury Risk in Model Year 1985-93 Passenger Cars and Lighttrucks. Springfield, Va: National Technical Information Services, 1997.

Figura 18: Alteração da taxa de fatalidade e danos físicos com a redução média de peso em 100lb (45kg) dos carros ou das *pickup's* (percentual)

Nota: Para análise de danos, NE significa que o efeito não foi estimado nesta análise (*non-estimated*). O traço significa que o efeito foi estatisticamente insignificante. Para análise de fatalidade, “*” significa que os valores não foram estatisticamente significativos.

Fonte: NHTSA 1997 apud NRC, 2002, p26

A análise de fatalidade da NHTSA indicou que a redução na massa da frota de carros de passageiros de 100lb (45kg), com nenhuma mudança no peso da frota de caminhonetes (*light-trucks*), seria esperado um aumento nas fatalidades nas colisões de 1,13%. Este aumento no risco representaria nos EUA, no ano de 1993, 300 fatalidades adicionais (desvio padrão de 44). Já uma redução similar na massa da frota de caminhonetes circulantes, sem nenhuma alteração na massa da frota de carros, resultaria numa redução de fatalidades de 0,26% (ou 40 vidas salvas), com desvio padrão de 30, em 1993.

O órgão responsável pelo estudo atribuiu esta diferença ao fato que a frota de caminhonetes ser, em média, 900lb (400kg) mais pesada que a frota de carros. Como resultado, o aumento de risco aos ocupantes das caminhonetes em algumas colisões como resultado da redução do peso do seu veículo, é superado pelo decréscimo do risco aos ocupantes de outros veículos envolvidos na mesma colisão, que em sua maioria são mais leves.

Os resultados de uma análise hipotética para carros e caminhonetes são aproximadamente positivas, pois uma redução uniforme na massa de 100lb (45kg) em ambos, carros e caminhonetes em 1993, estima-se um aumento de 250 fatalidades. Da mesma forma, um aumento uniforme na massa de 100lb em carros e caminhonetes, é estimado como resultado a mesma redução de 250 mortes.

Tal estudo também permitiu a NRC reestimar o efeito aproximado da redução do tamanho dos veículos da frota entre meados de 1970 e 1993. Em 1976, os carros eram 700lb (317kg) mais pesados que em 1993. Um aumento na massa de carros e caminhonetes em circulação em 1993, retornando-os ao peso médio de 1976; estima-se uma prevenção de 2100 mortes de ocupantes de veículos de passageiros e um aumento de 100 vítimas fatais de ocupantes de caminhonetes, resultando em na redução líquida de 2000 vítimas fatais em 1993 (para uma realidade norte-americana). O intervalo de confiabilidade 95% para esta estimativa sugere que há somente uma pequena chance de que o “saldo” em segurança seja inferior a 1300 vidas ou superior a 2600 vidas.

A partir destes resultados, é factível concluir que a redução de peso e tamanho sofrida pelos automóveis desde 1975, seja ela impulsionada pelos padrões da CAFE²⁶, pela pressão do preço do petróleo, ou simplesmente por uma tendência da concorrência em oferecer veículos com melhor rendimento e/ou mais econômicos, resultou em um *penalty* da segurança. Considerando a frota norte-americana, este *penalty* consistiu entre 1300 a 2600 mortes em colisões de veículos, que supostamente não teriam ocorrido se os veículos fossem tão pesados quanto eram em 1976.

Em contrapartida, dados apresentados pela *Insurance Institute for Highway Safety*, (NRC, 2002) mostram que o número de mortes em colisões automotores por milhão de veículo tem caído continuamente.

²⁶ Corporate Average Fuel Economy Standards

Vehicle Type	Vehicle Size	Year		
		1979	1989	1999
Car	Mini	379	269	249
	Small	313	207	161
	Midsize	213	157	127
	Large	191	151	112
	Very large	160	138	133
	All	244	200	138
Pickup	<3,000 lb	384	306	223
	3,000–3,999 lb	314	231	180
	4,000–4,999 lb	256	153	139
	5,000+ lb	—	94	115
	All	350	258	162
SUV	<3,000 lb	1,064	192	195
	3,000–3,999 lb	261	193	152
	4,000–4,999 lb	204	111	128
	5,000+ lb	—	149	92
	All	425	174	140
All passenger vehicles		265	208	143

Figura 19: Mortes de Ocupantes por Milhão de Veículos Registrados (base: EUA, veículos até 3 anos)

Apesar da ocorrência de um leve aumento de peso nos veículos nos anos recentes (a partir de meados de 1990), com resultados negativos no consumo de combustível, não podemos dizer que a redução nas fatalidades mostrada acima possa ser exclusivamente deste aumento de peso. Há uma certa incerteza na aplicação da estimativa da NHTSA diretamente em experiências de colisões fatais após 1993. É possível que o efeito do tamanho e peso na segurança possa ser influenciada conforme mudanças de projeto dos sistemas veiculares, por exemplo a substituição de materiais estruturais mais leves pode permitir que os veículos fiquem mais leves mantendo o tamanho desejado para a proteção dos ocupantes (zonas de deformação). Também os efeitos do peso do veículo e de seu tamanho podem variar conforme o tipo de colisão, de acordo com a Figura 18, e a frequência da distribuição destes modos pode variar ano após ano, por motivos distintos daqueles relacionados a dimensão e massa dos veículos.

Mesmos que a fatalidade em acidentes tem aumentado nas últimas décadas nos EUA em números absolutos (entre 1979 e 1999), a razão de fatalidade por veículo registrado tem apresentado queda generalizada. Esta queda é menos percebida para veículos menores, mostrando inclusive aumento para carros pequenos (*small*) entre 1989 e 1999. (Figura 19)

Em suma, embora seja possível que o peso, tamanho e as relações de segurança na frota futura de veículos possam ser diferentes do que em 1993, parece-nos não haver razões para esperar que estas relações serão diferentes. Não distante, o comitê de análise da NRC, acredita ser razoável usar estas relações quantitativas desenvolvidas pela NHTSA (1997) e mostrada na figura 18, para estimar o efeito sobre a segurança das mudanças de peso e tamanho dos veículos para outros anos.

5.3 Redução de Peso e Segurança Veicular – Uma questão polêmica

A relação entre economia de combustível e segurança veicular é complexa, ambígua e mal compreendida até o presente momento. Reduzindo peso do veículo, mantendo outros parâmetros constantes, é claramente uma forma de aumentar a economia de combustível, assim como reduzir a potência do motor, mantendo o resto inalterado.

Analisando a relação entre peso e segurança, é muito fácil se deixar levar por lógicas enganosas. Duas delas foram amplamente discutidas por Greene e Keller (2002).

A primeira é resultado de um documento muito intuitivo e previsto teoricamente por Evans (1991 apud Greene, 2002)²⁷ que em uma colisão entre dois veículos de pesos desiguais, os ocupantes do veículo mais leve estarão em maior risco. A falácia está no

²⁷ EVANS, L. **Traffic Safety and the Driver**. New York: [s.n], 1991, cap. 4.

observação portanto que a redução de massa de todos os veículos irá aumentar os riscos nas colisões entre veículos. Isto é um mito porque é o peso relativo dos veículos e não o peso absoluto dos mesmo que levam às conseqüências adversas para os ocupantes do veículo mais leve. De fato, há algumas evidências de que reduzindo proporcionalmente a massa de todos os veículos, teríamos efeitos benéficos em segurança nas colisões veiculares. (conforme NHTSA²⁸ 1997; Joksch et al²⁹, 1998 apud Greene, 2002).

A segunda falácia vem da falha de adequadamente considerar os fatores de influência na retirada de conclusões de correlações dos dados. Analisando colisões reais, é geralmente muito difícil separar fatores do veículo do comportamento do motorista e das condições ambientais. Devido ao motorista ser geralmente muito mais importante na determinação das ocorrências de colisões do que os veículos, e uma significativa variável, mesmo pequenos erros de correlação podem levar a resultados profundamente errados.

Conforme Greene (2002), entre motorista, ambiente, e carro; este último é o fator menos importante nas fatalidades por uso de veículos. Adicionalmente, há relações complexas entre estes fatores: motoristas jovens tendem a dirigir carros pequenos, carros pequenos são mais freqüentemente vistos em áreas urbanas, motoristas mais velhos são mais freqüentemente mortos comparado aos jovens em acidentes de mesma severidade, e assim por diante. Para isolar os efeitos dos fatores menos importantes daqueles mais importantes é freqüentemente ainda não possível. No caso do peso do veículo e da segurança geral nas vias públicas, ainda parece não haver medida adequada de como

²⁸ NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration). Relationship of Vehicle Weight to Fatality and Injury Risk in Model Year 1985-93 Passenger Cars and Lightrucks. Springfield, Va: National Technical Information Services, 1997.

²⁹ Joksch et all. Vehicle Aggressivity: Fleet Characterization using Traffic Collision Data. Washington, D.C.:NHTSA, 1998.

controlar os fatores interrelacionados, assim como isolar o efeito do peso do veículo por si só.

Parte da dificuldade na estimativa da real relação entre peso e segurança é empírica: a realidade apresenta dados de experimentos incompletos e mal projetados. Por exemplo, idade do condutor é linearmente relacionada com o peso do veículo (Greene, 2002), e o peso do veículo, tamanho e potência são fortemente ligados. Isso torna difícil desassociar fatores relacionados ao motorista dos fatores do veículo.

Outro aspecto levantado foi que as fatalidades de pedestres são mais concentradas em densas áreas urbanas (Evans, 1991 apud Greene, 2002), onde os veículos menores são predominantes. Falhar na contabilização acurada de onde os veículos são conduzidos podem levar a concluir que veículos menores atropelam pedestres mais freqüentemente do que veículos grandes.

Acidentes entre todo tipo de usuários das rodovias devem ser consideradas, não somente colisões entre carros de passageiros e pickup's, mas também acidentes envolvendo carros e caminhões, pedestres, ciclistas e acidentes envolvendo somente um veículo.

Segundo Greene, o estudo da NHTSA teve suas limitações, pois foi incapaz de separar estatisticamente os efeitos causados pelo tamanho do veículo dos efeitos causados pelo peso do veículo. Isso teria importante implicação se a substituição de material se tornar a estratégia predominante para redução do peso do veículo, desde que a substituição do material permita a redução de peso sem reduzir o tamanho do veículo. Não somente

protótipos mas a produção de veículos tem confirmado a posição da Indústria de que uma redução de 10-30% é factível sem reduzir o tamanho do veículo. (informação pessoal)³⁰

5.3.1 As Leis da Física: O ponto que todos concordam

Não há nenhuma razão científica fundamental que, reduzindo a massa de todos os veículos automotores em circulação, vá resultar em maiores danos físicos e aumento da mortalidade. Vimos que anteriores discussões freqüentemente postavam que, pelas leis da física, veículos mais leves e menores, devem ser menos seguros. Esta declaração é quase verdadeira na perspectiva do indivíduo, considerando sua/seu melhor interesse e ignorando os interesses dos outros, mas é falso do ponto de vista da perspectiva comunitária. Portanto, as questões de segurança que norteiam relacionadas à redução de peso/tamanho de veículos nas rodovias estão relacionadas em detalhes como: mudanças nos projetos (design's), diferenças em performance de materiais mais leves, a precisa distribuição das mudanças de massa e tamanho ao longo da frota e as interações com outros usuários das vias rodoviárias.

Vamos considerar que a colisão de dois veículos de massas distintas ocorra, sabemos que os ocupantes do veículo mais pesado irão geralmente sofrer menores conseqüências do que os do veículo mais leve. A evidência neste ponto é clara e conclusiva pois ela está fundamentada na lei da física que governa as mudanças de velocidade quando dois objetos de massas distintas colidem. Numa colisão frontal, a mudança de velocidade ΔV experimentada pelos dois objetos de diferentes massas são inversamente proporcionais à razão de suas massas.

³⁰ Rappelt, T. Apresentação interna recebida em 2003. General Electric

$$\Delta V_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} (V_1 + V_2) \Rightarrow \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad \text{(Equação 4)}$$

Devido ao corpo humano não estar preparado para tolerar grandes e rápidas mudanças de velocidade, ΔV_1 , se relacionada extremamente bem com os danos físicos e fatalidades. Segundo Joksch et al³¹ (1998 apud Greene, 2002), empiricamente o risco de fatalidade aumenta com ΔV a quarta potência. As implicações são portanto extremas. Se um veículo “2” pesa duas vezes mais que um veículo “1”, o risco de fatalidade aos ocupantes do veículo “1” será aproximadamente $2^4=16$ vezes maior do que para aqueles ocupantes do veículo “2” numa colisão frontal. Veículos mais leves irão sofrer maiores ΔV do que os veículos mais pesados, e os seus ocupantes irão sofrer maiores danos.

Esta relação simples expressada pela equação (4) mostra-nos duas coisas importantes. Primeiro, suponha que as massas de ambos os veículos fossem reduzidas em 10%. Isto é equivalente a multiplicar ambas as massas por 0,9. O resultado é que estes efeitos são cancelados, resultando em nenhuma mudança nos ΔV 's. Desse modo, a simples aplicação da lei da física prevê que uma redução proporcional na massa de todos os veículos resultaria em nenhum acréscimo em fatalidades ou danos físicos numa colisão entre dois carros.

Segundo, a distribuição dos pesos dos veículos é importante porque, a probabilidade do aumento de fatalidades aumenta conforme o aumento do ΔV . Uma frota

³¹ Joksch et all. Vehicle Aggressivity: Fleet Characterization using Traffic Collision Data. Washington, D.C.:NHTSA, 1998.

de veículos com uma distribuição de pesos muito ampla é menos segura do que uma frota com uma distribuição mais uniforme, em qualquer patamar de peso médio.

Não é difícil de extrapolar e compreender que, colisão carro-carro, ou pickup-pickup são menos prejudiciais aos ocupantes do que quando carro-pickup. Joksch et al (1998 apud Greene, 2002) estudou os acidentes fatais entre 1991 e 1994, focando em severidade e agressividade das colisões entre carros de passageiros e pickup's entre si, e encontrou mais evidências confirmando o conceito de que quanto mais pesados os veículos envolvidos, pior para a segurança.

Uma outra conclusão deste trabalho foi que:

“[...] Among cars, weight is the critical factor, Heavier cars impose a higher fatality risk on the drivers of other than lighter cars. A complement to this effect is that the driver fatality risk in the heavier car is lower. However, the reduction in the fatality risk for the driver of the heavier car is less than the increase of the fatality risk for the driver of the lighter car. Thus, the variation of weight among cars results in a net increase of fatalities in collisions.[...]”

Seguindo a lógica da simples equação da lei da física (1), alguém iria prever que reduzindo 10% no peso de pickup's e carros, isto é, na mesma proporção, não haveria mudança nas fatalidades em acidentes envolvendo estes tipos de veículos.

Se seguirmos a análise e usarmos as estimativas de Kahane (figura 18) que apresenta as variações percentuais em fatalidades decorrentes da redução de 100lb no peso do veículo, e calcularmos o impacto de 10% de variação de peso para um carro de passageiro e pickup ano modelo 2000, veremos que o resultado não é zero, porém relativamente não há grande impacto negativo nas fatalidades; olhando somente as colisões carro-carro, carro-pickup e pickup-pickup (-105+512-354-27=26 mortes adicionais no ano).

Type of Crash	Cars			Light Trucks		
	Fatalities in 1993 Crashes	Effect (%)	Change in Fatalities	Fatalities in 1993 Crashes	Effect (%)	Change in Fatalities
Single-vehicle						
Rollover	1,754	4.58	272	1,860	0.81	67
Object	7,456	1.12	<u>283</u>	3,263	1.44	<u>208</u>
Subtotal			555			275
Crashes with others						
Pedestrian	4,206	-0.46	-66	2,217	-2.03	-199
Big truck	2,648	1.40	126	1,111	2.63	129
Car	5,025	-0.62	-105	5,751	-1.39	-354
Light truck	5,751	2.63	<u>512</u>	1,110	-0.54	<u>-27</u>
Subtotal			467			-451
Subtotal single-vehicle crashes:	$555 + 275 = 830$					
Subtotal crashes with others:	$467 - 451 = 16$					
Total	<u>846 ± 147</u>					

Figura 20: Efeitos estimados da redução de 10% nos pesos de carros de passageiros e pickup's
Nota: Redução de peso de 10% de um veículo de passageiro ano-modelo 2000 foi adotado como 153 kg ($0,1 \cdot 1530$ kg); e 200 kg ($0,1 \cdot 2000$ kg), para pickup's.
Fonte: Greene, 2002.

Não distante, estes resultados fornecem empíricas evidências que, do ponto de vista social, uma abordagem ao assunto não pode ser feita meramente com uma equação da física como racional para os efeitos do peso nas colisões rodoviárias. É claro que se os carros reduzirem de peso/tamanho mais do que as pickup's, a crescente disparidade dos pesos iria aumentar as fatalidades. Paralelamente, se pickups forem reduzidas em tamanho/peso mais que os carros, a maior uniformidade no peso da frota iria reduzir as fatalidades.

O estudo acima também mostra que carros e pickups mais leves/menores iriam beneficiar usuários menores e mais leves nas vias de circulação (pedestres e ciclistas). Mas os benefícios para os pedestres são aproximadamente sobrepostas pelo efeito negativo aos

ocupantes de pickups (small trucks) em colisões com veículos pesados (caminhões e ônibus – heavy trucks).

Um resultado importante é que reduzindo o peso/tamanho de pickups, haverá ganhadores e perdedores. Incluindo pedestres, ciclistas, e colisões com caminhões, temos uma menor mudança líquida proveniente das colisões considerando todos os envolvidos. (467-451=16; 16 fatalidades adicionais).

A história para acidentes com colisões simples (isto é, somente um veículo envolvido), entretanto, não é boa. O modelo descrito acima prevê que fatalidades por capotamento iria aumentar para mais de 300 e fatalidades por colisão com objetos fixos por quase 500, num total de 800 fatalidades adicionais ao ano. Dessa forma, concluímos que todo o aumento de fatalidades devido à redução de peso/tamanho dos veículos provem destes dois modos de acidentes (capotamento e colisões com objetos fixos)

Isto se torna confuso porque não parece haver princípios/fundamentos que justifiquem tal resultado. A propensão ao capotamento e a severidade dos impactos em colisões com objetos fixos deveriam depender mais do projeto do veículo do que de sua massa; exceto para colisões com objetos quebráveis ou deformáveis.

Os resultados mostrados para estas duas modalidades são suspeitas, embora não necessariamente erradas. Testes experimentais de impacto (crash-test) mostram que a severidade dos impactos frontais sobre os ocupantes em barreiras fixas não depende da massa do veículo. A vantagem dos testes experimentais é que são procedimentos controlados e podem isolar completamente a influência do motorista e de condições ambientais nos resultados de severidade. Sua desvantagem é que eles podem simplificar demasiadamente as reais condições e fatores envolvidos numa colisão real, e dessa forma medir somente o que é crítico para a performance real.

Uma análise da NHTSA (2001 apud Greene, 2002, p.121)³² pode mostrar que o peso do veículo não interfere na severidade aos ocupantes numa colisão frontal com um objeto fixo. O gráfico abaixo mostra a classificação “five-star frontal crash” para veículos de passageiros por peso do veículo. Vimos aí que não há nenhuma relação entre peso e severidade ao motorista ou passageiro na situação de impacto frontal.

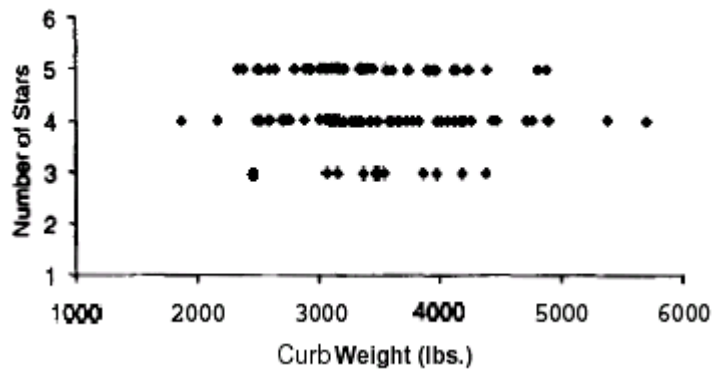


Figura 21: Classificação no Impacto para carros de passageiros ano-modelo 2001 – Lado Passageiro.

Fonte: NHTSA, 2001 apud Greene, 2002, p.121.

Uma explicação plausível para este comportamento recai no fato que conforme a massa é reduzida, a quantidade de energia cinética que um veículo deve absorver numa colisão é proporcionalmente reduzida. Claramente, o material disponível para absorver esta energia também dever ser reduzido e, mantendo os outros parâmetros inalterados, também a zona de deformação (distância em que a energia será dissipada) sofrerá uma redução. Entretanto, as dimensões dos veículos tende a decrescer menos que proporcionalmente a

³² NHTSA. New Car Assessment Program. U.S. Department of Transportation (DOT). Disponível em <<http://www.nhtsa.dot.gov/NCAP>>

massa do veículo. A distância entre eixos por exemplo decresce aproximadamente em $\frac{1}{4}$ da variação da massa. Isto é, 10% de decréscimo na massa está associada aproximadamente com uma redução de 2,5% na distância entre eixos. Com a massa diminuindo mais rapidamente que a diminuição da estrutura que absorve a energia cinética, é possível manter a performance em colisões com objetos fixos conforme a massa do veículo é reduzida.

Isto nos leva a crer que a posição equivocada de alguns resultados da figura 20 possa ser apontado para alguns fatores. Primeiro devido às variáveis que se relacionam tais como: motorista, ambiente, e aspectos estruturais do veículo. Segundo porque os testes experimentais não refletem completamente uma condição real. E terceiro, possa ser destinado a capacidade de veículos mais pesados quebrar ou deformar as barreiras de colisão.

Este terceiro fator foi investigado por Partyka (1995 apud Greene, 2002, p121)³³ que de fato comprovou a relação do peso do veículo e sua capacidade de danificar uma árvore ou poste numa colisão simples. Sua conclusão foi:

“[...] It appears that about half of vehicle-to-object crashes involved trees and poles, and about a third of these trees or poles were damaged by the impact. Damage to the tree or pole appears more likely for heavier than for lighter vehicles in front impacts, but not in side impacts [...]”

A figura abaixo mostra o percentual das vezes que uma árvore ou poste serão danificadas pela colisão com um veículo de passageiros. Impactos frontais e laterais foram combinados baseados em sua frequência relativa. Aproximadamente, os dados sugerem

³³ Partyka, Susan C. Impacts with Yielding Fixed Objects by Vehicle Weight. Washington, D.C.: NHTSA Technical Report, 1995

que as chances de romper um objeto pode aumentar em 5% para uma mudança no peso de 2000lb (900kg), que corresponde a um aumento na probabilidade de ruptura de 0,25% para cada 100lb (45kg) de aumento de massa. Se assumirmos que uma vida fosse salva toda vez que uma árvore ou poste fosse danificada devido a um aumento marginal no peso do veículo (o que em contrapartida levaria a um acidente fatal), então o efeito “ruptura” poderia contabilizar aproximadamente 100 fatalidades adicionais por ano para cada 10% de redução no peso de uma pickup.

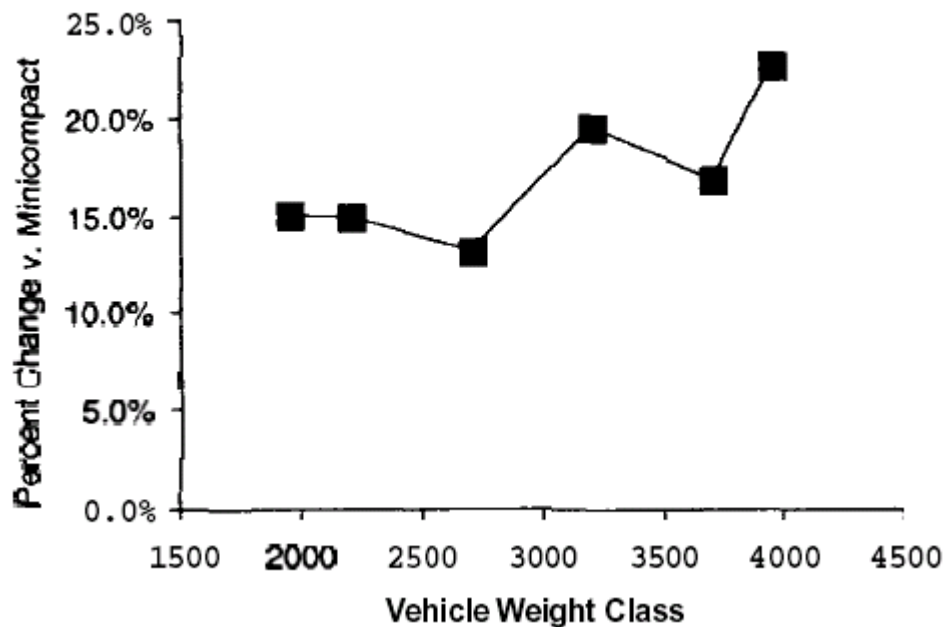


Figura 22: Frequência estimada de danos em uma árvore ou poste, dado uma colisão frontal com o objeto fixo

Entretanto esta análise também é incompleta uma vez que não considera que um carro mais leve pode evitar, com mais facilidade, o impacto frontal com objetos parados, devido a melhor capacidade de frenagem e/ou controle do veículo.

Finalmente, outro ponto levantado pela NHTSA (1997) é a relação entre aumento de massa e tendência ao capotamento. Sabemos que esta instabilidade está mais relacionada com a bitola (distância entre rodas em um mesmo eixo) do veículo e a altura do centro de gravidade do mesmo. Se o aumento de peso gerasse como consequência um projeto que tivesse sua bitola reduzida e/ou um aumento do centro de gravidade, certamente teríamos um aumento da probabilidade ao capotamento (roll-over). Dados apresentados pela NHTSA sobre índices (SSF)² de carros de passageiros e pickups ano-modelo 2001 mostra que não há relação entre SSF e o peso do veículo nestas classes de veículos.

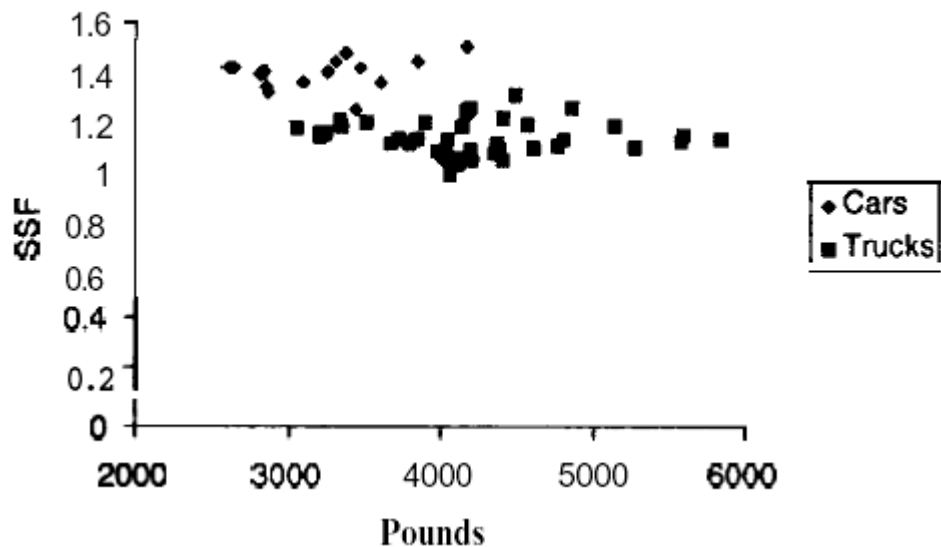


Figura 23: SSF (static stability factor). Fator de Estabilidade Estática vs. Peso total para veículos ano-modelo 2001

Fonte: NHTSA, 1997 apud Greene, 2002.

Portanto, estas análises e dados apresentados comprovam a complexidade para a extração de resultados definitivos e inquestionáveis sobre a influência da massa do veículo

para a segurança dos condutores, passageiros e usuários de uma forma geral. Para uma conclusão mais sustentada, faz-se necessário um estudo mais aprofundado sobre o assunto para isolar as variáveis consideradas influentes no processo e chegar a um resultado mais concreto com relação à influência da redução da massa do veículo e seu impacto na segurança das pessoas.

6 CONCLUSÕES

6.1 Comentários Gerais

Os termoplásticos definitivamente comprovam, através dos diversos exemplos que encontramos no dia-a-dia, sua viabilidade técnica em aplicações nem sempre tão convencionais. Isto é verdadeiro não somente para a indústria automobilística, mas para as indústrias de telecomunicações, elétrica, médica, aeronáutica, alimentícia e bens de consumo de uma forma geral.

Produtos destinados ao mercado voltados ao apelo estético (utensílios domésticos, celulares, etc.) conseguem com o uso dos termoplásticos oferecer diferenciais não antes possíveis. Formas, cores, acabamentos, funcionalidades adicionais foram viabilizadas com o uso destes materiais. Como mostrado no capítulo 2, novas tecnologias vem sendo desenvolvidas com o intuito de otimizar a performance e/ou custo dos componentes poliméricos. Entretanto tais desenvolvimentos sempre enfrentarão a concorrência dos materiais *commodities* se não for criado um adicional de valor com o termoplástico.

É este adicional de valor que a solução avaliada neste trabalho (blenda polimérica de PPO/PA) possui em relação ao aço, alumínio, SMC e polipropileno. Os termoplásticos de engenharia naturalmente são conhecidos pela melhor performance termo-mecânica comparado aos termoplásticos de uso comum. Na presente análise, avaliamos um material que, além de suas características físico-mecânicas, oferecem um diferencial de performance térmica e elétrica; e são estes dois últimos aspectos que fazem com que a alternativa (PPO/PA) seja competitiva frente às outras alternativas analisadas. A elevada

performance térmica viabiliza a utilização das já implementadas linhas de pintura das montadoras, que possuem uma faixa de operação de 180 a 210°C (uma demanda técnica das atuais tintas automotivas). A utilização de uma matéria-prima que não requeira adaptações nos atuais processos industriais, é imediatamente visto como um diferencial importante para a continuidade do estudo de viabilidade.

Outro diferencial tecnológico importante que o material pesquisado possui é sua capacidade de acumular carga eletrostática ao nível desejado que os processos de pintura eletrostáticos exigem; chamamos genericamente (e de certa forma contraditoriamente) de termoplástico condutivo. Esta característica do material leva a outro valor identificado pelas empresas e linhas de pintura de peças plásticas: a não necessidade da aplicação de *primer* de aderência (material que prepara o termoplástico para receber o acabamento base). Isto promove benefícios diretos no custo do processo e, conseqüentemente, no custo do produto final.

Os resultados apresentados nos capítulos 3, 4 e 5 despertam a atenção de projetistas e engenheiros de produto de que a análise de viabilidade (na mudança de metal por plástico) requer fundamentalmente uma abordagem de custo sistêmica em que todos os elementos/etapas participantes da produção do componente devem ser considerados. Isso demanda destes profissionais, além de uma postura adequada, conhecimentos diversos sobre custos e processos de áreas que não estão dentro de sua zona de *expertise*.

6.2 Comentários sobre o Estudo de Viabilidade

O resultado da viabilidade econômica, explorada no capítulo 3, mostrou que a alternativa em termoplástico de engenharia (PPO/PA) apresentou um custo superior de 3% comparado com a mesma peça em metal, dado uma produção anual estimada de 100.000 veículos ano. Considerando as margens de variação esperadas para os custos estimados e usados nesta análise (tais como, custo das ferramentas, tempos de processo, custos de mão-de-obra, custo da matéria-prima) podemos considerar que as alternativas, PPO/PA e aço apresentaram tecnicamente o mesmo custo.

Mais importante que o custo por peça pontualmente é a informação que temos, através do gráfico do break-even, que as curvas de custo apresentam inclinações distintas, indicando a existência de um nível de produção onde os custos se invertem; ponto abaixo do qual³⁴ a alternativa em termoplástico apresenta um custo inferior ao aço. Considerando que cada componente do veículo apresentará uma curva distinta, é fundamental entendermos a importância da adoção desta metodologia na execução de estudos de viabilidade futura para novos componentes (onde materiais distintos estão sendo considerados no escopo).

Para nosso exemplo (peça, tamanho, materiais, etc.) concluímos que a alternativa em termoplástico é economicamente mais viável que o metal, uma vez que a maior parte dos modelos comercializados no Brasil atualmente vendem menos que 70.000 unidades/ano. Exceções estão naquelas plataformas de veículos em que um mesmo componente é utilizado em mais de um modelo, contribuindo para que a soma de produção

³⁴ Em nosso estudo, 70.000 veículos/ano.

do item por ano ultrapasse as 70.000 unidades. Nesta situação estão os modelos da plataforma Palio (FIAT), que em 2004 vendeu aproximadamente 185.000 veículos; modelos da plataforma Fiesta (FORD), com 102.000 unidades; os modelos das plataformas Celta e Corsa (GM), com 135.000 e 220.000 unidades; e a linha Gol e Fox (VW), com mais de 300.000 e 85.000 unidades, em 2004.

Constatamos portanto que a proposta de utilização de termoplásticos de engenharia ganha força nos projetos de carros médios compactos/grandes e SUV's (Sport Utility Vehicles). Alguns exemplos destes são, com as respectivas quantidades comercializadas em 2004: Meriva-GM (37.000 unidades), Zafira-GM (17.000 unidades); Astra-GM (68.000 unidades), Polo-VW (46.000 unidades), entre outros.

O detalhamento do custeio, mostra que além dos benefícios de custo de processo advindos da uso da alternativa PPO/PA, a reduzida densidade do material é o grande fator compensador do superior custo por quilo do termoplástico comparado ao custo por quilo do aço. Mesmo tendo 3 vezes a espessura do modelo em aço, a opção em termoplástico oferece uma redução de peso na peça de 55%.

É esta redução de peso que justifica os benefícios ao ambiente discutidos no capítulo 4. A redução da emissão de poluentes pelo veículo é imediata e, se aplicada na frota como um todo, trará ganhos significativos para a qualidade do ar, redução de impactos ambientais (efeito estufa e aquecimento global) e ao bem estar da sociedade.

Em nossa simulação, vimos também que o impacto na redução de CO₂ provocada pela frota de veículos de passageiros, caso todos os pára-lamas fossem em termoplástico³⁵ seria de 180.000 toneladas por mês no Brasil, considerando somente os veículos de

³⁵ Ver as condições de simulação apresentadas no capítulo 4.1

passageiros em circulação na frota nacional. Adicionalmente uma redução aproximada de 9.000 toneladas de monóxido de carbono (CO) e 1200 tons de NO₂.

Entretanto se olharmos para valores individuais de emissão, vimos que a conscientização ambiental da população não seria suficiente para acrescentar mais este fator de decisão no momento de compra de um veículo. Por isso, se não houver subsídios governamentais, como a redução do imposto para veículos que atendam determinadas metas-programa de redução de emissão de poluentes, não veremos mudança no curto prazo. Adicionalmente, programas de controle de emissão (através da CETESB, PROCONVE, DETRAN) para os veículos já estão no mercado se faz necessário para o sucesso da iniciativa.

O impacto sobre segurança veicular devido a redução de peso do veículo e conseqüentemente da frota como um todo, como apresentado no capítulo 5, é complexo e necessita de um estudo mais aprofundado. As melhores estimativas comprovam que se a redução de peso não for proporcionalmente implementada em toda a frota circulante, haverá um aumento nas vítimas fatais em colisões e/ou um agravamento dos danos físicos sofridos pelas pessoas envolvidas em um acidente automobilístico. A análise mostra que vários fatores influenciam a severidade destes acidentes (ambientais, pessoais, etc.), o que torna difícil isolá-los por completo e tirarmos uma conclusão sobre o impacto da adoção de termoplásticos nos automóveis (e a conseqüente redução de peso) na segurança de pedestres e passageiros.

REFERÊNCIAS

- ANFAVEA (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES). **Anuário Estatístico da Indústria Automotiva Brasileira**. São Paulo: Anfavea, 2004. Disponível em <<http://www.anfavea.com.br>>, em 15 julho 2005.
- BILLMEYER JÚNIOR, F. **Testbook of Polymer Science**. 2nd ed. [S.l.: s.n.], 1970.
- BUÍSSA G; REDIVO, M; PADILHA, R. **Renovação de Frota Veicular e Reciclagem de Materiais**. Relatório da Disciplina : Administração de Projetos e Desenvolvimento de Produtos com Planejamento, Organização e Qualidade. São Paulo, 2001
- CASAROTTO FILHO, N.; KIPITTKE,B. **Análise de Investimentos**. 9^a Edição. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2000
- ECOBALANCE, INC.; PRICEWATERSHOUSECOOPERS. **Life Cycle Evaluation of Vehicle Lightweighting Through the Use of Plastic Material**. Bethesda: Ecobalance, 2001
- EEVC (WG15) (EUROPEAN ENHANCED VEHICLE-SAFETY COMMITTEE – WORKING GROUP 15). **Research in the Field of Improvement of Crash Compatibility Between Passenger Cars**. EEVC [S.l.: s.n.], 2001. Disponível em <<http://www.eevc.org>>, em 10/01/2005.
- EEVC (WG15). **Approach to the Improvement of Crash Compatibility between Passenger Cars**. Alemanha: Federal Highway Research Institute, 200-?. Disponível em <<http://www.eevc.org>>, em 10/01/2005.
- EEVC (WG17). **Improved Test Methods to Evaluate Pedestrian Protection Afforded by Passenger Cars**. EEVC: 2002. Disponível em <<http://www.eevc.org>>, em 10/01/2005.
- EPA (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY). **Life Cycle Assessment (LCA)**. [S.l]: EPA, 2001. Disponível em <<http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca.htm>>, em 12 março 2004.
- FERRAZ, C.; MOTTA, R. **Automobile Pollution Control in Brazil**. Rio de Janeiro: IPEA (Instituto de Pesquisas Econômica Aplicada), 1998.
- FROLLINI, E.; LEÃO, A.; MATTOSO, L. **Natural Polymers and Agrofibers Based Composites**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora Ltda., 2000.
- GUERRERO, L. **O destino os carros**. Revista ÉPOCA (São Paulo), 27 dez. 2004, edição 345, p. 59-65.

GREENE, D; KELLER, M. **Dissent on Safety Issues: Fuel Economy and Highway Safety.** [S.l.: s.n.], 2002, p. 117-124

KAMINSKI, P. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2000

LAWRENCE, G. et all. **The Next Steps for Pedestrian Protection Test Methods.** Inglaterra: Federal Highway Research Institute, 200-?. Disponível em <<http://www.eevc.org>>, em 10/01/2005.

MODERN PLASTICS. **Silver Nanoparticles Raise Antimicrobial Performance.** Disponível em <<http://www.modplas.com>>, em 20 de março de 2004.

MONTEIRO, C. **Proposta de um Modelo de Análise da Viabilidade Técnica-Econômica-Financeira para Projetos na Área Automotiva.** São Paulo, 2002.

NATIONAL RESERCH COUNCIL. **Effectiveness and Impact of Corporate Average Fuel Economy (CAFE) Standards.** Washington, D.C.: National Academy Press, 2002.

NHTSA. **New Car Assessment Program.** US Department of Transportation (DOT), 2001. Disponível em <<http://www.nhtsa.dot.gov/NCAP>>. Acesso em 20 maio 2004.

PARTYKA, SUSAN. **Impacts with Yielding Fixed Objctcs by Vehicle Weight.** Washington, D.C: NHTSA Technical Report, 1995.

PLASTIC TRENDS. **Nanocomposite – Technology For The Future.**(1999) Disponível em <<http://www.plasticstrends.net>>, em 20 março 2004.

PLASTIC TRENDS. **From Cellular To Microcellular Foam – What’s Up And Coming – New Jersey.** Disponível em <<http://www.plasticstrends.net>>, em maio 2004.

PLASTIC TRENDS. **Believe it or not Plastic is the material of the new millenium.** (2000). Disponível em <<http://www.plasticstrends.net>>, em 20 março 2004.

ROY, W.; GARY, W. **Applied Polymer Science.** 2nd ed. Washington, D.C: American Chemistry Society, 1985.

WOILER, S.; MATHIAS, W. **Projetos: Planejamento, Elaboração e Análise.** São Paulo: Editora Atlas S.A., 1996

APÊNDICE A: Análise de Viabilidade Econômica Detalhada para fabricação de um Pára-Lama de Automóvel (Condição: 100.000 carros/ano)