

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
ENGENHARIA DE MATERIAS**

ANDRÉ GONÇALVES NOGUEIRA

**ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS
METÁLICOS POR MATERIAIS POLIMÉRICOS NA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA.**

Belo Horizonte

2013

ANDRÉ GONÇALVES NOGUEIRA

**ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS
METÁLICOS POR MATERIAIS POLIMÉRICOS NA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: HERMES DE SOUZA COSTA

Co-Orientadora: ADRIANA DE SOUZA MEDEIROS BATISTA

Belo Horizonte

2013

ANDRÉ GONÇALVES NOGUEIRA

**ALTERNATIVAS PARA SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS
METÁLICOS POR MATERIAIS POLIMÉRICOS NA INDÚSTRIA
AUTOMOTIVA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

HERMES DE SOUZA COSTA

ADRIANA DE SOUZA MEDEIROS BATISTA

EZEQUIEL DE SOUZA COSTA JÚNIOR

RESUMO

A necessidade de redução de consumo de combustível e as legislações mais rigorosas quanto à emissão de poluentes foram os fatores principais para busca de diferentes materiais para veículos, ocorrida na indústria automotiva a partir da década de 60. Materiais metálicos representavam quase a totalidade dos componentes de um veículo, fato que causava excesso de peso dos automóveis. Além desse inconveniente, a elevada resistência dos metais utilizados não promovia a segurança dos passageiros em uma eventual colisão. Os materiais poliméricos conseguiram substituir, e conseqüentemente, superar as deficiências dos materiais metálicos em uma parcela significativa de componentes veiculares. O presente trabalho analisa os principais metais e termoplásticos utilizados em automóveis, histórico dos materiais automotivos, em quais situações cada material deve ser escolhido, fatores consideráveis de um projeto e também descreve o processo de injeção plástica, que, por sua vez, é o método de produção de termoplásticos dominante no ramo da indústria automotiva. O foco principal do trabalho é apresentar quais são os termoplásticos utilizados pela indústria automotiva, vantagens da sua utilização, suas propriedades e onde e porque são aplicados nos veículos.

Palavras-chave: Plásticos, redução de peso, substituição por polímeros, propriedades mecânicas, injeção plástica.

ABSTRACT

The need to reduce fuel consumption and more severe laws regarding emission of pollutants were the main factors to the search of different materials for vehicles, occurred in the auto industry from the 60's. Metallic materials were present in almost all components of a vehicle fact that caused an excessive weight of automobiles. Besides this inconvenient, the high resistance of the metals used not preserving passenger safety in an eventual collision. The polymeric materials were able to replace, and consequently overcome the shortcomings of metallic materials into an enormous amount of vehicle components. This paper analyzes the main thermoplastics and metals used in automobiles, history of automotive materials, in which situations each material must be chosen, considerable factors of a project and also describes the process of plastic injection, which, in turn, is the method of producing thermoplastic dominant in the field of automotive industry. The main focus of the paper is to present what are the thermoplastics used by the automotive industry, benefits from its use, its properties and where they are applied in vehicles.

Keywords: Plastics, weight reduction, replacement by polymers, mechanical properties, plastic injection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vantagens da redução de peso dos automóveis.....	11
Figura 2 – Mudança da porcentagem dos materiais utilizados em veículos ao longo dos anos.	15
Figura 3 – Distribuição de peso do veículo Mercedes Benz C-class C180.....	16
Figura 4 – Relação entre o aumento do custo e a diminuição do peso da carroceria de um veículo por meio da mudança do material utilizado.....	17
Figura 5 – Trincas causadas pelo dobramento de um aço com alta resistência mecânica.	21
Figura 6 – Carcaças da caixa de marcha feitas de magnésio.	24
Figura 7 – Demonstrativo dos tipos de polímeros em relação as suas características.	26
Figura 8 – Variação da resistência ao impacto das blendas de PP/EPDM em relação a variação percentual de EPDM.....	36
Figura 9 – Tampa do filtro de ar feita de PP + EPDM + Talco.	37
Figura 10 – Tapetes fabricados por injeção plástica de PVC flexível.....	38
Figura 11 – Batente de Cellasto® utilizado nos sistema de amortecimento.....	40
Figura 12 – Relação entre as propriedades e as proporções dos monômeros do ABS.....	41
Figura 13 – Painel e suas adjacências feitas de Cyloloy ® do carro Smart Forfour.	46
Figura 14 – Coletor de entrada de um veículo.....	48
Figura 15 – L-Finesse Crystallised Wind, modelo de um superesportivo fabricado totalmente em acrílico.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Absorção de energia de amostras de Polipropileno com variações entre material virgem e reciclado.	12
Tabela 2 – Propriedades do Mg, Al e Fe.	17
Tabela 3 – Ferros fundidos utilizados na indústria automotiva, suas propriedade e aplicações.....	18
Tabela 4 – Aços utilizados na indústria automotiva, suas propriedade e aplicações.	20
Tabela 5 – Demonstrativo da redução do peso de um automóvel apenas pela redução da espessura do aço da carroceria.....	21
Tabela 6 – Ligas de alumínio utilizadas na indústria automotiva, suas propriedade e aplicações.....	23
Tabela 7 – Desenvolvimentos necessários para aumento da aplicação do magnésio em veículos.....	25
Tabela 8 – Distribuição de peças plásticas nos veículos.....	32
Tabela 9 – Porcentagem dos plásticos utilizados em automóveis fabricados no Brasil. ..	33
Tabela 10 – Ficha técnica do PP EP240N® – Polipropileno Copolímero.	35
Tabela 11 – Propriedades da blenda PP/EPDM.....	37
Tabela 12 – Propriedades mecânicas do Poliuretano.....	41
Tabela 13 - Propriedades do terpolímero ABS com alta resistência ao calor.....	43
Tabela 14 – Ficha técnica do Lexan® - Série LS3.....	44
Tabela 15 – Variação das propriedades da blenda PC/ABS com a variação do teor de ambos.....	45
Tabela 16 – Propriedades das poliamidas utilizadas em peças automotivas.	47
Tabela 17 – Propriedades características dos polietilenos de baixa densidade.	49
Tabela 18 – Propriedades características do polímero PBT.....	51
Tabela 19 – Propriedades características dos polióxido de fenileno Noryl 731.....	53
Tabela 20 – Propriedades dos poliacetais de grande utilização comercial.....	55
Tabela 21 Relação entre materiais utilizados em veículos e suas propriedades de interesse	56

SUMÁRIO

1. OBJETIVO	10
2. INTRODUÇÃO	10
3. PROPRIEDADES MECÂNICAS	12
4. QUANDO USAR METAIS E QUANDO USAR PLÁSTICOS.....	13
5. HISTÓRICO DOS MATERIAIS AUTOMOTIVOS.....	14
6. MATERIAIS METÁLICOS UTILIZADOS EM AUTOMÓVEIS	16
6.1 Ferro fundido	18
6.2 Aço	18
6.3 Alumínio	22
6.4 Magnésio.....	23
7. OS POLÍMEROS	25
7.1 Polímeros em relação ao seu uso	26
7.1.1 Commodities.....	27
7.1.2 Quasi-commodities.....	27
7.1.3 De engenharia	27
7.1.4 Specialties	27
7.2 Termoplásticos	28
7.2.1 Propriedades vantajosas dos termoplásticos	28
7.3 Termofixos.....	29
8. PEÇAS PLÁSTICAS AUTOMOTIVAS.....	30
8.1 Fatores consideráveis de um projeto	30
8.2 Processo de injeção plástica	32
9 POLÍMEROS UTILIZADOS EM AUTOMÓVEIS	32
9.1 Plásticos compósitos (plásticos reforçados).....	33
9.2 Polipropileno (PP)	34
9.2.1 Blenda PP + etileno-propileno-dieno (EPDM).....	35
9.3 Cloreto de polivinila (PVC)	37
9.4 Poliuretano (PU)	39
9.5 Acrilonitrila butadieno-estireno (ABS)	41
9.6 Policarbonato (PC)	43
9.7 Blenda PC/ABS	44
9.8 Poliamidas (PA 6 e PA6.6)	46

9.9 Polietileno (PE)	49
9.9.1 Polietileno de baixa densidade (PEBD)	49
9.10 Polimetacrilato de metlia (PMMA)	50
9.11 Politereftalato de butileno (PBT)	51
9.12 Noryl® ou Polióxido de fenileno (PPE)	52
9.13 Polioximetileno ou Poliacetal (POM)	53
9.13.1 POM Homopolímero	53
9.13.2 POM Copolímero	54
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

LISTA DE ABREVIATURAS

PP	Polipropileno
EPDM	Etileno Propileno Dieno
PVC	Cloreto de Polivinila
PU	Poliuretano
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
PC	Policarbonato
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PMMA	Polimetacrilato de Metila
PBT	Politereftalato de Butileno
PTMT	Politetrametilenotereftalato
PET	Politereftalato de Etileno
PPE	Polióxido de Fenileno
POM	Polioximetileno

1. OBJETIVO

Realizar revisão bibliográfica específica a respeito dos polímeros termoplásticos utilizados em automóveis, enfocando as melhorias obtidas nos veículos quando comparados com a utilização de peças metálicas, principalmente em termos de vantagens como redução de peso, capacidade de deformação e absorção de energia.

2. INTRODUÇÃO

De acordo com Guedes e Filkauskas (1986), a indústria automotiva mudou o seu conceito sobre a fabricação de carros nos últimos a partir da década de 60. A ideia anterior era produzir carros com alta resistência mecânica, porém isso era aliado à utilização da maior quantidade de partes metálicas possíveis, que culminava com a construção de um automóvel constituído de estruturas pesadas. Além de aumentar bastante o consumo de combustível, ter um carro com material metálico, pouco deformável, não trazia segurança a preservação da vida do motorista, passageiros e até de terceiros, caso o carro se envolvesse em algum tipo de acidente. A exploração de recursos minerais, aliada a grande degradação ambiental iniciaram a conscientização na indústria automotiva para utilizar outra linha de matéria prima para os carros. Os materiais poliméricos também são obtidos de fontes não renováveis, como o petróleo, porém a reciclagem desses materiais tem sido estudada e intensificada constantemente. Como existem várias normas e leis de incentivo ao uso de matérias primas alternativas e renováveis, várias montadoras têm usado materiais reciclados para fabricar suas peças automotivas, ganhando isenções, prêmios e certificados de qualidade e de responsabilidade ambiental.

Ashby e Jones (2007) relatam que um ponto importante a ser observado na indústria automotiva é a produção em massa, o que requer a todo o momento novas maneiras de reduzir custos. Outro fator importante para o incentivo de usar polímeros nos carros foi o fator estético. Automóveis grandes e com formatos quadrados eram características marcantes quando se fazia utilização excessiva de peças metálicas. Atualmente é impossível aceitar que alguma montadora produza um carro com esse padrão, pois o uso dos plásticos viabilizou veículos com formatos arredondados e de tamanhos variados. É possível produzir peças poliméricas de tamanhos variados, desde pequenos parafusos e botões de sistemas eletrônicos

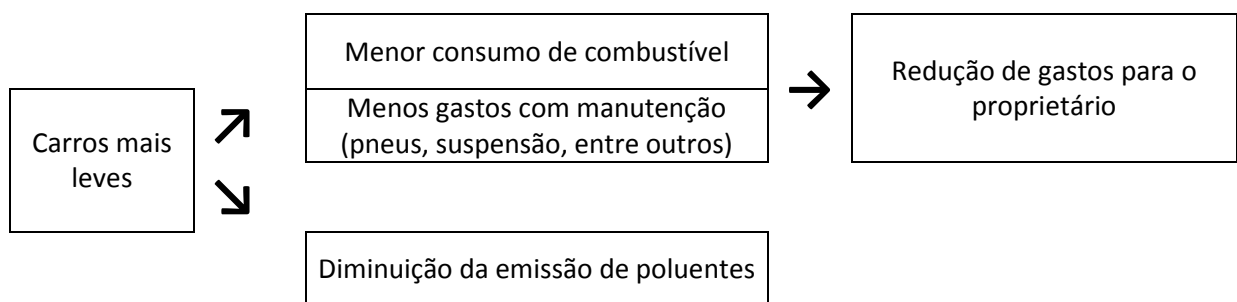
até para-choques e capôs. Essa variedade de tamanhos facilitou a reposição de partes danificadas, pois vários componentes dos carros são conjuntos de pequenas peças plásticas montadas para formar uma peça e não mais apenas uma parte contínua, como era comum de se fazer com utilização de peças metálicas.

Existem dois caminhos para reduzir o consumo de combustível de um automóvel:

- Melhorar a eficiência do motor: para diminuir a quantidade de energia necessária para movimentar o veículo. Porém, a eficiência dos motores já é notável e projetos para aprimoramento são muito custosos.
- Reduzir o peso do carro: existe uma relação linear entre consumo de combustível e peso do veículo, ou seja, reduzir o peso do carro a metade reduz o consumo de combustível a metade também. É por isso que carros pequenos são mais econômicos do que os grandes.

Ashby e Jones (2007), ainda dizem que em virtude dos inconvenientes causados pelo excesso de peças metálicas, as montadoras atualmente fazem grandes investimentos em pesquisas para desenvolvimento da maior quantidade possível de polímeros para serem utilizados nos carros. Dessa forma, são fabricados automóveis básicos ou robustos, com motores comuns ou potentes, porém todos são leves (figura 1) e principalmente seguros, devido à alta deformação desses materiais poliméricos e conseqüentemente grande absorção de energia durante o impacto causado por colisões.

Figura 1 – Vantagens da redução de peso dos automóveis.



Fonte: FEUP - materiais usados na concepção de um automóvel.

Segundo Fernandes e Domingues (2007), em vista da existência de incentivos governamentais para indústrias que executem ações de proteção ambiental, um fator que tem atraído bastante o setor automotivo para utilizar plásticos em vez de metais é a capacidade crescente da utilização de matéria prima reciclada misturada a matéria virgem, uma vez que cada vez mais o processo de reciclagem se aprimora e mais empresas investem neste setor. O

preço de um polímero reciclado pode chegar à metade do valor do mesmo polímero virgem, sendo atrativo em relação à diminuição dos custos de produção. O uso de matéria prima reciclada em peças plásticas varia do tipo de polímero e do uso final do produto, podendo atingir até cerca de 40% do total de matéria prima utilizada na fabricação de uma peça, como pode ser conferido na tabela 1, que apresenta também uma comparação da capacidade de absorção de energia durante o impacto de amostras que variam suas proporções de polipropileno virgem e reciclado.

Tabela 1 – Absorção de energia de amostras de Polipropileno com variações entre material virgem e reciclado.

CORPO DE PROVA	RESISTÊNCIA AO IMPACTO (kJ/m²) a 23 °C
100 % virgem	78,7
70 % virgem - 30% reciclado	55,1
50 % virgem - 50% reciclado	42,3
100% reciclado	19,7

Fonte: PP reciclado para a indústria automotiva. (Fernandes, B. L.; Domingues, A. J.)

3. PROPRIEDADES MECÂNICAS

Alguns conceitos sobre as propriedades dos materiais devem ser bem entendidos para que seja possível a comparação entre os materiais metálicos e os materiais poliméricos usados na indústria automotiva:

- Limite de escoamento: nível de tensão no qual a deformação elástica (forma recuperável) cede lugar a deformação plástica (permanente/não recuperável), isto é, ponto em que o escoamento é iniciado. (CALLISTER, 2007).
- Limite de resistência à tração: corresponde à máxima tensão sob tração que pode ser suportado por um material. Se essa tensão é aplicada e mantida, o material sofrerá fratura. (CALLISTER, 2007).
- Resistência ao impacto: é medida por meio do ensaio de impacto que consiste em medir a quantidade de energia absorvida. É usado para medir como um material comporta-se de maneira frágil. (ASHBY e JONES, 2007).
- Falha por fadiga: é o tipo de falha que ocorre em materiais sujeitos a ciclos repetidos de tensão, sendo que a falha acontece em valores de tensão menores que os limites de resistências do material. (ASHBY e JONES, 2007).

- Módulo de elasticidade (ou de Young): corresponde a resistência de um material a deformação elástica, ou seja, o módulo de tensão em que começa a ocorrer deformação elástica no material. (ASHBY e JONES, 2007).
- Ductilidade: é uma medida do grau de deformação plástica que pode ser suportado por um material até sua fratura. (CALLISTER, 2007).
- Resiliência: corresponde a quantidade de energia que um material é capaz de absorver durante o regime de deformação elástica. (CALLISTER, 2007).
- Tenacidade: é uma medida da quantidade de energia absorvida por um material até que ocorra sua fratura. (CALLISTER, 2007).
- Dureza: representa resistência de um material ao risco e a penetração. Também é usado para determinar o limite de escoamento de um material. (ASHBY e JONES, 2007).
- Rigidez: é a capacidade que um material apresenta de não sofrer deformação elástica quando submetido a tensões. (ASHBY e JONES, 2007).
- HDT (Temperatura de Distorção Térmica): corresponde à temperatura na qual um material polimérico começa a deformar quando carregado por uma carga constante. (ASHBY e JONES, 2007).
- Ponto de amolecimento Vicat: é a temperatura que o material plástico começa a amolecer quando submetido a um penetrador com carga constante. O resultado fornece temperatura em que o polímero começa a entrar no estado fundido. (ASHBY e JONES, 2007).

4. QUANDO USAR METAIS E QUANDO USAR PLÁSTICOS

De acordo com Albuquerque (2001), os casos que os materiais metálicos devem ser escolhidos são:

- Quando uma grande resistência mecânica é necessária;
- Quando altos valores de dureza são necessários;
- Quando as dimensões da peça não podem sofrer variações ou tem tolerâncias muito curtas;
- Quando as tensões aplicadas são muito elevadas;
- Quando a temperatura de trabalho é constantemente alta.

Ainda de acordo com Albuquerque (2001), nas seguintes situações são as que os materiais plásticos devem ser escolhidos:

- Quando as condições de uso são abrasivas;
- Quando o ambiente é corrosivo, pois a resistência química da maioria dos plásticos é muito superior a dos metais;
- Quando os materiais não podem ser colados (agregação), como em calhas e revestimentos;
- Quando é necessário um baixo coeficiente de atrito;
- Quando não é possível utilizar lubrificantes ou quando é necessário um material autolubrificante;
- Quando é necessário o controle de redução de ruídos e vibrações, pois plásticos produzem menos ruídos que materiais metálicos;
- Quando é necessário um material dielétrico;
- Quando transparência ou translucidez são necessárias;
- Quando a redução do peso é necessária.

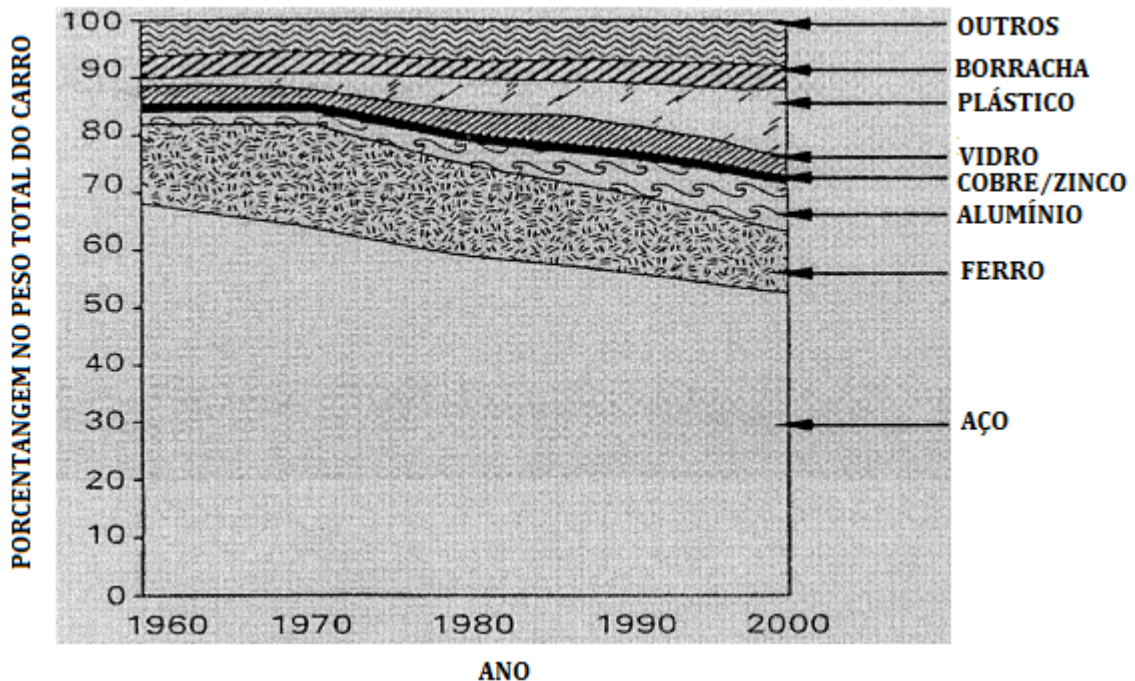
5. HISTÓRICO DOS MATERIAIS AUTOMOTIVOS

Segundo Araújo e Naveiro (1999), o primeiro grande passo na escolha dos materiais para uso automotivo foi em 1911, quando a SAE (Standard American Engineering) padronizou o primeiro aço, o SAE 1050. No mesmo ano, mais ênfase foi dada a metalurgia dos materiais, graças aos avanços no desenvolvimento dos microscópios e a consciência de se assumir o tratamento térmico como ciência. Quando Ford lançou seu famoso Modelo T, ele utilizou uma nova liga de aço contendo vanádio, que era três vezes mais resistente e mais fácil de usinar do que os, até então, aços padronizados. O alumínio começou a ser empregado na indústria automotiva em 1915 e na década de 30 já estava substituindo o ferro fundido no pistão do motor. Em 1936, na Alemanha, a Volkswagen começou a utilizar magnésio fundido no eixo de manivela, no sistema de transmissão do motor e em outras pequenas partes, o que proporcionou um automóvel 50 kg mais leve, cerca de 7% do peso total. Na década de 40 a Du Pont introduziu o nylon como material automotivo, sendo este o primeiro material polimérico sintético utilizado em automóveis. A partir da década de 50 começaram a ser lançados automóveis com peças de carrocerias feitas de materiais “plásticos”. Eram leves, resistentes e podiam ser facilmente moldados em formas complexas. Porém, essa nova

categoria de material oferecia problemas, já que seu processo de fabricação era lento e o processo de pintura era trabalhoso. Independente destes inconvenientes, os materiais plásticos em uma década – 1960 a 1970 – aumentaram sua participação nos automóveis em 34 kg, principalmente em componentes decorativos no interior dos automóveis.

Materiais automotivos tem um importante impacto sobre o meio ambiente. O uso de materiais leves influencia na redução de peso e aumenta a economia de combustível. A pressão para alcançar a redução de peso tem guiado uma diminuição gradual da quantidade de aço e ferro fundido usados nos veículos, e conseqüentemente, tem aumentado o uso de materiais alternativos, principalmente plásticos, como mostrado na figura 2. [MILLER e ZHUANG, 2000].

Figura 2 – Mudança da porcentagem dos materiais utilizados em veículos ao longo dos anos.



Fonte: Materials Science and Engineering A280, (2000), pag. 38.

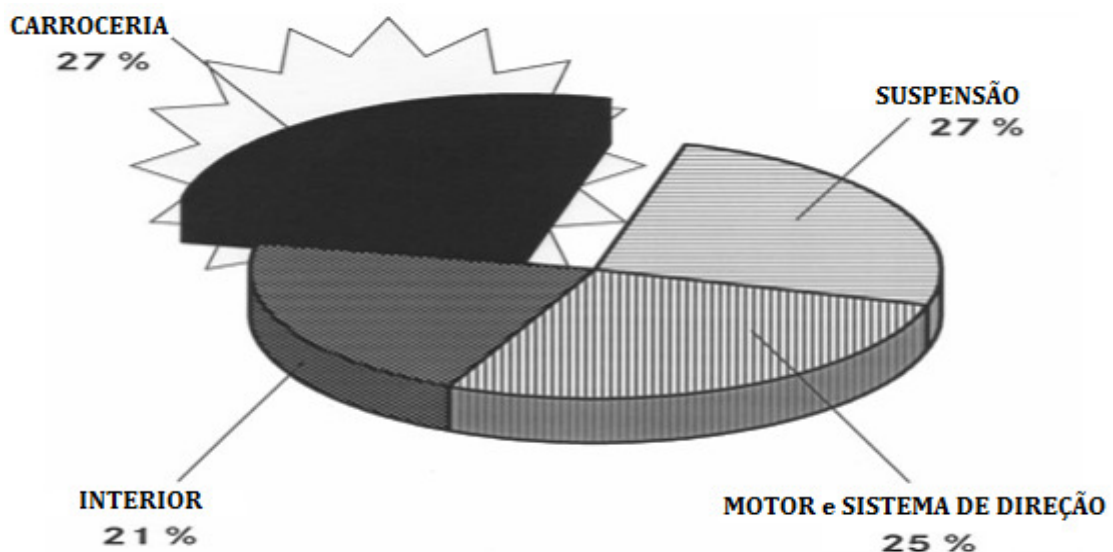
Segundo Miller e Zhuang (2000), existem vários componentes nos carros que não são alvos de estudos para substituição por polímeros, por necessitarem de propriedades que são inerentes aos metais, como alta temperatura de fusão. Um desses componentes é o motor, que sempre são produzidos com ferro fundido ou com ligas de alumínio, sendo que estes dois materiais apresentam excelente capacidade de resistir bem ao calor gerado pela queima do combustível e ao mesmo tempo dissipá-lo com grande facilidade. O chassi é outro componente que não é interessante a utilização de plásticos em substituição dos metais, uma

vez que trata-se de um conjunto estrutural do carro, sendo responsável por suportar todo o peso das partes superiores, como motor, carroceria, componentes internos, passageiros, bagagens, entre outros. O chassi é feito de aço e é montado de forma que não fique totalmente rígido, ou seja, possibilita a deformação e conseqüentemente a absorção de impacto em uma eventual colisão.

6. MATERIAIS METÁLICOS UTILIZADOS EM AUTOMÓVEIS

De acordo Jambor e Beyer (1997), por meio de uma simples análise dos materiais utilizados até por volta de 1970 é possível perceber que o uso de metais era mais acentuado do que atualmente, como no caso do carro Mercedes Benz C-class C180, que possuía um percentual de peso em torno de 27% devido apenas a sua carroceria (figura 3).

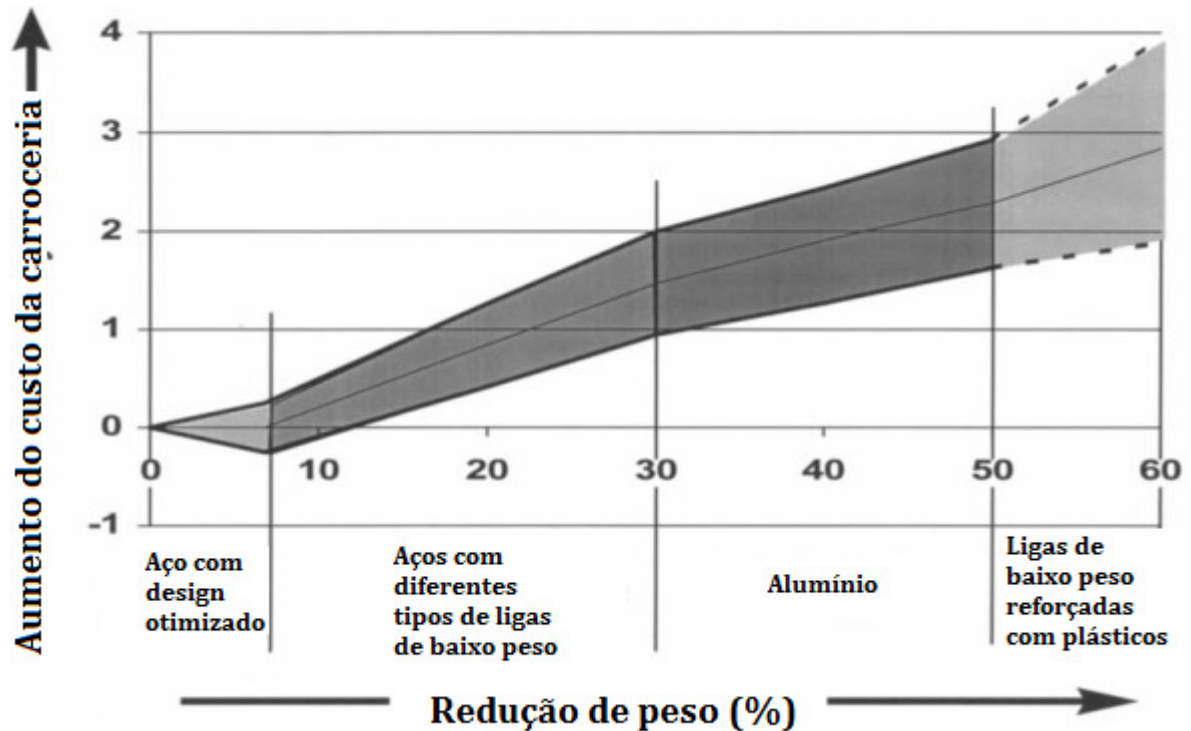
Figura 3 – Distribuição de peso do veículo Mercedes Benz C-class C180.



Fonte: Materials & Design, Volume 18, Numbers 4/6, 1997, pag 204.

Jambor e Beyer (1997) relatam que as possibilidades de redução dos pesos dos veículos (figura 4) começam com melhoria no projeto dos desenhos das carrocerias, feitas totalmente de aço (potencial de redução de 7% em relação às carrocerias sem um design otimizado). Outro caminho é a utilização de ligas de aço como materiais mais leves. Reduções de 30 a 50% do peso veicular são alcançados apenas quando utiliza-se unicamente alumínio, quando comparado com a utilização de aço. Para reduções mais intensas, é necessária a utilização de plásticos, alcançando redução nos pesos acima de 50%.

Figura 4 – Relação entre o aumento do custo e a diminuição do peso da carroceria de um veículo por meio da mudança do material utilizado.



Fonte: Materials & Design, Volume 18, Numbers 4/6, 1997, pag. 205.

Segundo Matthias Beyer (1997), o método de utilizar materiais com menor peso no sistema de direção e no motor garante uma redução de peso de apenas 1 a 2% da totalidade do veículo. O maior potencial de redução de peso pode ser obtido na parte estrutural do veículo, sendo que a carroceria bruta (BIW – Body-In-White) apresenta a maior contribuição para alcançar tal redução.

Na tabela 2, é possível visualizar algumas das propriedades dos principais constituintes dos materiais metálicos utilizados em automóveis.

Tabela 2 – Propriedades do Mg, Al e Fe.

PROPRIEDADE	UNIDADE	MAGNÉSIO	ALUMÍNIO	FERRO
Densidade a 20 °C	g/cm ³	1,74	2,7	7,86
Coefficiente de expansão térmica 20 – 100 °C	(10 ⁶)/C	25,2	23,6	11,7
Módulo elástico	10 ⁶ MPa	44,126	68,947	206,842
Resistência à tração	MPa	240	320	350
Temperatura de fusão	°C	650	660	1.536

Fonte: Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects. Pag. 380.

6.1 Ferro fundido

De acordo com Callister (2007), os ferros fundidos correspondem a uma classe de ligas ferrosas que contém teores de carbono acima de 2,14%, sendo que a maioria dos ferros fundidos fabricados apresentam teores entre 3 e 4,5% de carbono, além de outros elementos de liga. Os ferros fundidos têm temperatura de fusão (1150 a 1300 °C) inferiores a dos aços, justificando o motivo dos ferros serem fabricados pelo processo de fundição. A tabela 3 mostra as propriedades mecânicas e as aplicações dos ferros fundidos na indústria automotiva.

Tabela 3 – Ferros fundidos utilizados na indústria automotiva, suas propriedades e aplicações.

CLASSE	Composição (%)	LIMITE DE RESISTENCIA À TRAÇÃO (MPa)	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	DUCTILIDADE (% AL em 50mm)	APLICAÇÕES TÍPICAS
Ferro Cinzento					
SAE G2500	3,2 - 3,5 C 2,2 Si 0,8 Mn	173	-	-	Blocos e cabeçotes de cilindro, pistões, placas de embreagem e caixas de transmissão
SAE G4000	3,0 - 3,3 C 2,0 Si 0,8 Mn	276	-	-	Motores a diesel, cilindros e pistões
Ferro Nodular					
ASTM A536	3,5 - 3,8 C 2,0 - 2,8 Si 0,05 Mg	689	483	3	Corpos de válvulas, engrenagens e cilindros
Ferro vermicular					
ASTM A842	3,1 - 4,0 C 1,7 - 3,0 Si 0,015 - 0,035 Mg	450	315	3	Bloco de motor, distribuidor de exaustão e disco de freio

Fonte: Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. (CALLISTER, W.D.) 2007.

6.2 Aço

A posição do aço como matéria prima preferencial para a fabricação de carroceria de automóveis deve-se principalmente a seu preço. Ele sempre foi o material mais barato que cumpria os requisitos necessários de resistência, rigidez, conformabilidade e soldabilidade para a produção de carrocerias em grande escala. Mas agora, a maior preocupação com problemas ambientais e as exigências jurídicas mais rigorosas no tocante as emissões nocivas e a eficiência do combustível estão mudando essa visão. Fabricantes de

automóveis estão empenhados em descobrir alternativas para o aço. [ASHBY e JONES, 2007].

Segundo DeCicco (2005), os aços são os constituintes da parte estrutural da vasta maioria dos veículos por serem de baixo custo e terem suas propriedades bem conhecidas pela indústria automotiva, tornando-os confiáveis quanto as suas utilizações. As formulações de aços de alta resistência, uma variedade de formas de fabricação e técnicas de montagem, permitem que as aplicações dos aços não sejam apenas na carroceria dos veículos, mas também no motor, chassi, rodas e muitas outras peças. Os usos comumente demonstram melhorias de resistência, rigidez, e outras características estruturais de desempenho.

De acordo com Marsh (2000), a principal razão para se usar aço na estrutura de um automóvel é a sua capacidade de absorver energia de impacto em uma situação em que ocorre colisão. Isso, em combinação como a boa capacidade de ser conformado, faz do aço uma escolha certa para se projetar a estrutura inicial de um carro. Materiais são comumente descritos pelas suas propriedades como limite e tensão de escoamento, alongamento até a fratura, anisotropia e módulo de elasticidade. Dependendo das condições de carregamento, um determinado material combinado com um processo adequado pode garantir que o mesmo apresente melhor resposta as solicitações mecânicas.

Para Gouveia (2012), as ligas de aço com baixo teor de carbono oferecem muitas aplicações. Alguns dos aços com baixo teor de carbono mais amplamente utilizados são 1010, 1018, 1020, que, por definição, podem conter até cerca de 0,2% de carbono na composição final da liga. A indústria automotiva emprega uma quantidade considerável deste aço na fabricação de peças que exijam flexão de baixo ou médio módulo. Carrocerias, assoalhos, rodas, tampas de porta malas e as portas dos veículos são muitas vezes fabricadas com este tipo de aço. Outros componentes de um veículo, como bobinas, também são confeccionados com aços com baixos teores de carbono.

Segundo Callister (2007), a indústria automotiva utiliza desde aços de baixo teor de carbono a aços de alto teor de carbono, como se vê na tabela 4. Aços inoxidáveis também têm participação em algumas peças veiculares, porém suas aplicações são poucas e específicas.

Tabela 4 – Aços utilizados na indústria automotiva, suas propriedades e aplicações.

AÇO AISI	LIMITE DE RESISTENCIA À TRAÇÃO (MPa)	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	DUCTILIDADE (% AL em 50mm)	APLICAÇÕES TÍPICAS
Aços-carbono comuns com baixo teor de carbono				
1010	325	180	28	Painéis de automóveis
1020	380	205	25	Carroceria
Aços de alta resistência e baixa liga				
A656 Classe I	655	552	15	Chassis
Aços-carbono comuns				
1040	605 - 780	430 - 585	33 - 19	Virabrequins
Aços-liga				
4063	786 -2380	710 - 1770	24 - 4	Molas
6150	815 -2170	745 - 1860	22 - 7	Eixos, pistões e engrenagens
Aços inoxidáveis				
409	380	205	20	Componentes de exaustão
446	515	275	20	Válvulas (em altas temperaturas)

Fonte: Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. (CALLISTER, W.D.) 2007.

Segundo Heckelmann (1999), aços de alta resistência (HSS) são classificados com base nos seus respectivos limites de escoamento, variando de 210 MPa até 550 MPa. Aços de ultra alta resistência (UHSS) tem módulos de limite de escoamento acima de 550 MPa. Aços HSS e UHSS têm um custo superior a 50% em relação aos aços convencionais, porém podem ser fabricados com menores espessuras, garantindo assim uma maior gama de usos como melhores desempenhos. Um inconveniente de se produzir aços com elevada resistência, como por exemplo, resistência ao alongamento, é que fica mais difícil e caro o processo de conformação das peças, em particular para produtos com designs sofisticados como os que são usados na indústria automotiva.

Entretanto, somente a substituição de um material de menor resistência mecânica por outro de maior resistência mecânica, não garante o sucesso na aplicação. Existem outras considerações que devem ser feitas para que a substituição tenha sucesso e que a vantagem do ganho em peso não agregue dificuldades em outros aspectos na fabricação e no uso final do veículo. Considerações principalmente a respeito do custo, mas também da conformabilidade, soldabilidade e rigidez da estrutura devem ser feitas para implementar substituições práticas que levem a resultados concretos. [BORGES E MORAIS, 2009].

De acordo com Silva (2004), os principais processos que exigem do material uma ductilidade mínima para sua utilização nos processos de fabricação de componentes e estruturas de veículos são dobramento e estampagem. A diminuição da espessura das peças, além de reduzir o peso do veículo (tabela 5), facilita o processo de conformação, principalmente se tratando de dobramento. Entretanto, o aumento da resistência mecânica limita a sua capacidade de deformação e aumenta o efeito mola (também conhecido com *springback*). Um material com maior nível de resistência normalmente apresenta ductilidade mais restrita, o que pode implicar na ocorrência de trincas (figura 5).

Tabela 5 – Demonstrativo da redução do peso de um automóvel apenas pela redução da espessura do aço da carroceria.

Automóvel	Peso do automóvel (kg)	Participação do aço				Redução de espessura (peso) na carroceria		
		no automóvel (%)	(kg)	(%)	(kg)	(%)	(kg)	(% total)
A	903	55,7%	503	25%	226	27%	61	6,8%
B	1.180	50,3%	594	25%	295	27%	80	6,8%
Média	1.042	53%	549	25%	260	27%	70	6,8%

Fonte: Tecnol. Metal. Mater. Miner. São Paulo, v. 6, n. 1, p.1-6, jul.-set. 2009. Pag. 2.

Figura 5 – Trincas causadas pelo dobramento de um aço com alta resistência mecânica.



Fonte: Tecnol. Metal. Mater. Miner. São Paulo, v. 6, n. 1, p.1-6, jul.-set. 2009. Pag. 2.

O uso de aços de maior resistência mecânica possibilita o emprego de componentes mais finos e, portanto, mais leves. Porém, o módulo de rigidez (ou módulo de Young) dos aços é praticamente constante entre 180 a 205 GPa, para qualquer nível de resistência mecânica. Assim, a rigidez do componente é reduzida à medida que se reduz sua espessura e essa diminuição na rigidez pode levar a maior geração de vibrações, ruídos, desgastes e mesmo induzir fadiga. Além disso, a menor espessura também torna o material mais susceptível ao empenamento em uso, que é a deformação elástica seguida de instabilidade plástica ou dobramento (flambagem distorcional) em componentes muito finos. [PEREZ, MORAIS e BORGES, 2007].

6.3 Alumínio

Alumínio tem sido aplicado em várias partes dos automóveis por longos anos. É possível notar como tendência principal a substituição do bloco do motor feito de ferro fundido por alumínio fundido, resultando em redução significativa de peso.

Segundo Bottema (1986), o alumínio fundido encontrou grande aceitação nos componentes do motor dos veículos, sendo utilizados pistões com 100% e cabeçotes com 75%. Em outros conjuntos de um veículo é possível encontrar coletores de admissão e partes da transmissão (como eixos traseiros e caixa diferencial) com 85% de alumínio fundido. A aplicação deste material gira em torno de 40% nos chassis, rodas, suportes, componentes do freio, suspensão, componentes da direção (eixos, juntas) e no painel de instrumentos. Nos últimos anos o foco de desenvolvimento de alumínio conformado para aplicações automotivas está sendo mais intenso quando comparado ao alumínio fundido. Rodas forjadas são mais adequadas para situações em que as cargas aplicadas são maiores e, conseqüentemente, propriedades mecânicas mais elevadas são necessárias. Alumínio forjado também encontra muitas aplicações em escudos térmicos, caixas componentes do Air Bag, sistemas pneumáticos e armações dos bancos.

Enquanto um bloco de ferro fundido pesa 45 kg, o de alumínio pesa 18kg. O bloco de alumínio custa, em média, de 15 a 20% a mais do que o de ferro fundido. Com a redução de combustível que o bloco de alumínio oferece, esse valor adicional se paga em três ou quatro anos. Mas a decisão para esse investimento passa também pela análise da disposição do consumidor em pagar a mais por isso. Consumidores de carros importados, por exemplo, têm essa disposição, não é a toa que quase todos os veículos fabricados na Europa e EUA fazem uso de blocos de alumínio. [MARCHINA, 2010].

O alumínio é o metal que mais teria chances de alcançar maior percentual de aplicação na parte estrutural dos veículos, substituindo inclusive o aço, pois o alumínio absorve duas vezes mais energia do que aço em uma colisão, garantindo eficiência na redução de peso e na preservação da integridade dos passageiros. Entretanto fatores de grande importância impedem que tal fato ocorra, como por exemplo, o preço da matéria prima para sua produção, custo de equipamentos e tecnologia para fabricação.

Recentemente, tem sido dada atenção às ligas de alumínio com outros metais de baixa massa específica (por exemplo, Mg e Ti) como materiais de engenharia para a área de transportes, visando a redução do consumo de combustível. Uma característica importante desses materiais é a resistência específica, que é quantificada pela razão entre o limite de resistência a tração e o peso específico. Embora uma liga feita a partir de um desses metais possa ter um limite de resistência à tração inferior ao exibido por um material mais denso (tal como o aço), em uma base de peso ela será capaz de suportar uma carga maior. [CALLISTER, 2007].

A tabela 6 mostra algumas ligas de alumínio utilizadas para fabricação de componentes veiculares.

Tabela 6 – Ligas de alumínio utilizadas na indústria automotiva, suas propriedades e aplicações.

NÚMERO	Composição (%)	LIMITE DE RESISTENCIA À TRAÇÃO (MPa)	LIMITE DE ESCOAMENTO (MPa)	DUCTILIDADE (% AL em 50mm)	APLICAÇÕES TÍPICAS
Ligas forjadas, não tratáveis termicamente					
5052	2,5 Mg 0,25 Cr	230	195	12 - 18	Tanques de combustível e rebites
Ligas forjadas, tratáveis termicamente					
2024	4,4 Cu 1,5 Mg 0,6 Mn	470	325	20	Rodas e rebites
6261	0,4 - 0,7 Si 0,15 - 0,40 Cu 0,20 - 0,35 Mn	265	225	10	Carrocerias e peças estruturais
Ligas forjadas, tratáveis termicamente					
295	4,5 Cu 1,1 Si	221	110	8,5	Rodas, cárteres, alojamento de polias e eixos
Ligas fundidas, tratáveis termicamente					
356	7,0 Si 0,3 Mg	228	164	3,5	Caixas de transmissão e blocos de cilindro

Fonte: Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. (CALLISTER, W.D.) 2007.

6.4 Magnésio

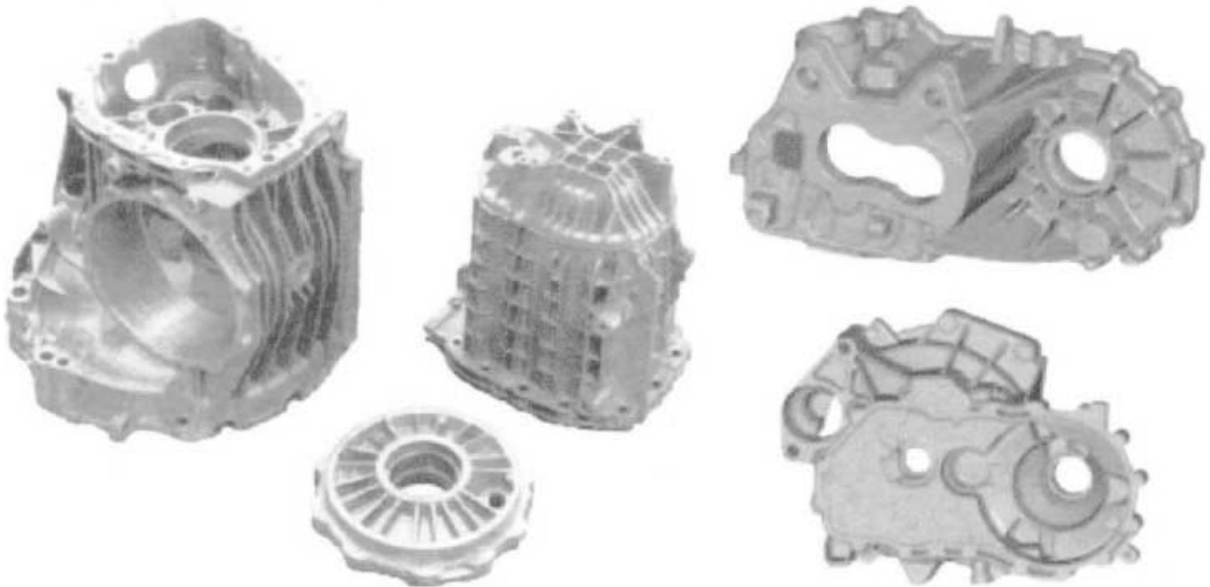
Segundo Mordike e Ebert (2001), a necessidade da redução de peso veicular como parte da legislação que limita a emissão de gases tóxicos fez ressurgir o interesse pela utilização do magnésio, devido a suas propriedades:

- Menor densidade dentre os metais utilizados em estruturas;
- Fácil de ser fundido;

- Moldável em altas pressões;
- Alta soldabilidade;
- Altamente resistente à corrosão;
- Boa resistência mecânica.

Conforme Friedrich (2001), o retorno da utilização do magnésio em veículos ocorreu em 1996, quando as empresas Volkswagen e Audi fabricaram carcaças de caixas de marcha (figura 6) e cárteres feitos da liga de magnésio AZ91, reduzindo de 20 a 25 % o peso de tais componentes quando comparados aos feitos de alumínio. Um inconveniente desta liga AZ91 é o fato de perder parte de suas propriedades mecânicas nas utilizações em veículos de alto desempenho, onde as temperaturas podem ultrapassar 130 °C.

Figura 6 – Carcaças da caixa de marcha feitas de magnésio.



Fonte: Journal of Materials Processing Technology 117 (2001) 276-281.

Ainda de acordo com Friedrich (2001), na parte interior dos veículos não existe requerimentos especiais contra corrosão, sendo a área dos automóveis que o magnésio é mais aplicado. Um exemplo é a liga AM50/60, com capacidade de alongamento até a fratura de 8 a 10 %, utilizada nos componentes das portas e como estrutura do volante.

Mordike e Ebert (2001) relatam que não é possível utilizar técnicas convencionais de processamento para melhorar certas propriedades do magnésio, como por exemplo, o módulo de elasticidade. Como agravante, a solubilidade de elementos de liga no magnésio é baixa,

restringindo a possibilidade de melhorar as propriedades mecânicas e o comportamento químico das ligas de magnésio. As desvantagens do magnésio são:

- Baixo módulo de elasticidade;
- Baixa capacidade de trabalho a frio;
- Alto grau de compactação durante a solidificação;
- Alta reatividade química;
- Resistência à fluência em altas temperaturas;
- Limitada resistência a corrosão em algumas situações.

Mordike e Ebert (2001) relatam que o grande período em que o magnésio foi deixado de lado ocasionou a falta de incentivo ao desenvolvimento para aprimorar as características necessárias para sua maior utilização (tabela 7). Para que o magnésio seja realmente competitivo com alumínio é necessário, principalmente, aumentar o ponto de fusão deste material através da adição de outros materiais na liga, pois o fato de ser muito baixo já é um fator limitante para sua aplicação. O comportamento de deformação também precisa ser melhorado, pois o baixo módulo de elasticidade dificulta que o magnésio seja utilizado em peças estruturais.

Tabela 7 – Desenvolvimentos necessários para aumento da aplicação do magnésio em veículos.

INOVAÇÃO	APLICAÇÃO	DESENVOLVIMENTO
Reforço com fibras e partículas	Elementos estruturais	Dimensionamento do material
Moldagem sob alta pressão	Componentes de suportes	Resistência à fadiga
Extrusão	Elementos estruturais, perfis para armações	Comportamento de deformação, processos de produção
Chapa	Teto de veículos	Qualidade superficial, comportamento de deformação

Fonte: Materials Science and Engineering, A302, 2001, 37–45.

7. OS POLÍMEROS

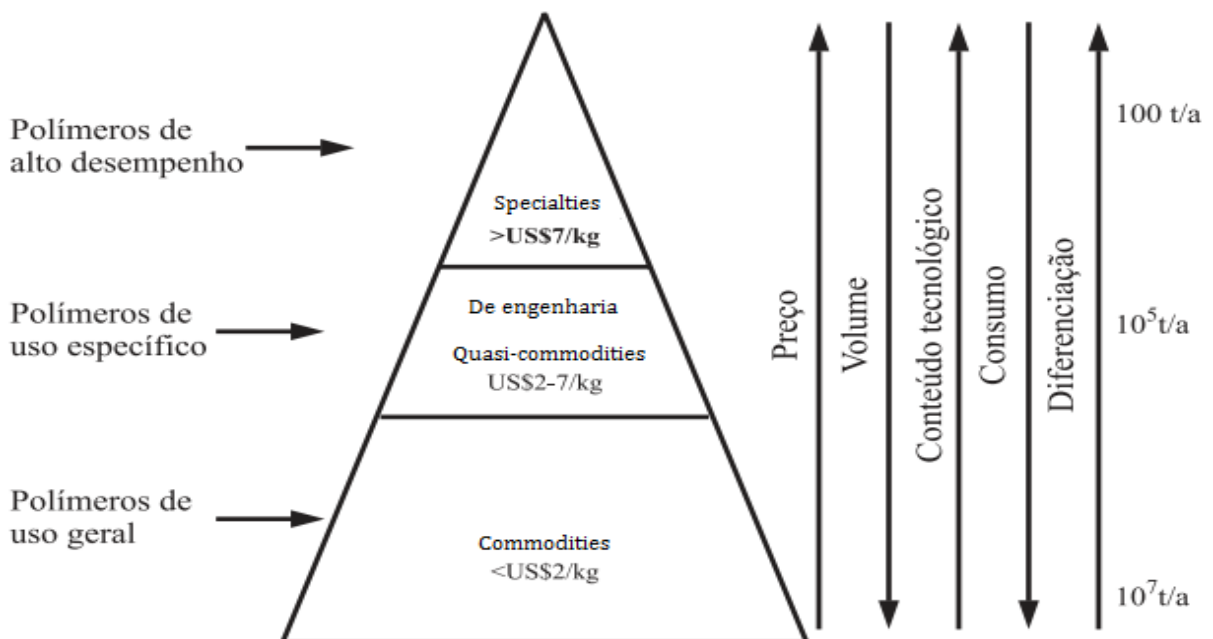
Segundo Nogueira, Silva e Silva (2000), polímeros são materiais que apresentam em sua estrutura molecular unidades relativamente simples que se repetem formando longas cadeias e, portanto, resultando em compostos de alta massa molecular. Essas unidades que se repetem são conhecidas como meros ou unidades monoméricas.

O primeiro plástico aplicado em situações cotidianas foi o nitrato de celulose, que já era bem conhecido por químicos desde 1860, mas era usado apenas em laboratório para âmbito de pesquisa. Tal plástico serviu para substituir o marfim, porém era um material inflamável e deteriorava facilmente quando exposto ao calor. Devido a estes problemas, os plásticos não tiveram uma boa aceitação para substituir outros materiais que já eram conhecidos pelas pessoas, fato que mudou quando Baekeland (Bélgica, 14/08/1863 - EUA, 23/02/1944) conseguiu realizar reações de polimerização estáveis, desenvolvendo a resina baquelite em 1909. Após sua obtenção, o baquelite começou a ser produzido em grande escala e se difundir rapidamente entre as indústrias, o que deu impulso para o surgimento de pesquisas de novos materiais poliméricos. Dentre os ramos industriais que mais utilizam peças plásticas o que mais se destaca é o automotivo, seguido do setor de eletroeletrônicos. [GUEDES e FILKAUSKAS, 1986].

7.1 Polímeros em relação ao seu uso

Uma forma de diferenciar tipos de polímeros é em relação a sua utilização. Existem os polímeros usos simples (*commodities*), médios (*quasi-commodities*), específicos (*de engenharia*) e especiais (*specialties*). A figura 7 mostra as relações entre os tipos de polímeros e os principais fatores que determinam a presença de cada um no mercado. É possível perceber que o preço, o conteúdo tecnológico e o grau de diferenciação dos polímeros aumentam à medida que as propriedades do material melhoram, enquanto que o consumo e o volume de produção diminuem com o incremento das propriedades.

Figura 7 – Demonstrativo dos tipos de polímeros em relação as suas características.



Fonte: Associação Brasileira de Polímeros.

7.1.1 Commodities

De acordo com Guedes e Filkauskas (1986), correspondem aos materiais poliméricos produzidos em grande escala, para utilizações corriqueiras e que não exigem um comportamento muito específico quando aplicados. São usados em grandes quantidades e por isso são encontrados com facilidade, tem baixo custo e não apresentam uma diferenciação significativa das propriedades. Devido a esses fatores, tais polímeros não são objetos de estudo para inovações tecnológicas.

7.1.2 Quasi-commodities

Segundo Hemais (2003), tratam-se de materiais que apresentam propriedades mais específicas para certas aplicações do que os polímeros *commodities*, sendo mais caros que estes últimos e produzidos em média escala. Tem um desempenho mais aprimorado e geralmente são fabricados sob encomenda.

7.1.3 De engenharia

Guedes e Filkauskas (1986) relatam que são os materiais poliméricos ideais para aplicações que exigem alto desempenho quando utilizados. Apresentam propriedades específicas bem definidas e geralmente mesclam propriedades inerentes a outras classes de materiais. São fabricados em pequena escala por terem alto custo e pouca requisição de uso. São alvos constantes de estudos para inovações tecnológicas, o que aumenta sua diferenciação de propriedades e conseqüentemente garantem aplicações mais específicas para esses materiais.

7.1.4 Specialties

De acordo com Hemais (2003), é a classe mais avançada de polímeros sendo apenas produzidas para usos exclusivos, como no caso de componentes espaciais, ou apenas para pesquisas. São plásticos com preço muito elevado e de desempenho garantido.

7.2 Termoplásticos

De acordo com Guedes e Filkauskas (1986) termoplásticos são materiais que requerem calor (termo) para ser tornarem moldáveis (plásticos), e uma vez resfriados, retêm a forma geométrica no qual foram moldados. Possuem cadeias moleculares que fluem ou deslizam umas sobre as outras quando o material é aquecido e que se aglutinam quando o material é solidificado por resfriamento, sem rompimento significativo destas cadeias moleculares. Se o material for novamente aquecido, suas cadeias moleculares voltam a adquirir o grau de liberdade necessário para permitir nova moldagem. Quando submetidos a solicitações mecânicas, os polímeros termoplásticos apresentam características de resposta bem semelhantes a dos materiais metálicos, o que faz desses plásticos ideais para substituição de alguns metais.

7.2.1 Propriedades vantajosas dos termoplásticos

Para Guedes e Filkauskas (1986), as seguintes propriedades dos termoplásticos são as que justificam o emprego deste tipo de material:

- **Peso específico:** em termos de vantagens dos termoplásticos, é importante ressaltar que a densidade desses materiais está sempre próxima de 1 g/cm^3 , tendo variações máximas de $0,5 \text{ g/cm}^3$, o que garante que todo termoplástico escolhido para ser processado terá um peso que quase sempre sofrerá variações apenas pelo tamanho das peças produzidas.
- **Propriedades de superfície:** possuem a capacidade de adquirirem cores quando processados com pigmentos, e principalmente, possuem propriedades de superfície superiores aos metais quando se trata de resistência à oxidação devido às ligações presentes nas cadeias poliméricas. Como agravante, a maioria das peças metálicas precisam de algum tipo de acabamento superficial de alto custo, como aplicação de vernizes, pinturas e até mesmo processos eletrolíticos para deposição de outros metais mais resistentes a corrosão.
- **Flexibilidade:** os termoplásticos conseguem apresentar, dependendo do tipo de processamento sofrido e do molde utilizado, a capacidade de serem dobrados sem quebrar e nem sofrer qualquer tipo de deformação. É possível criar peças que contenham dobradiças próprias, como caixas de fio dental por exemplo. Dentre os

termoplásticos mais flexíveis, o polipropileno é o que mais se destaca, podendo sofrer processos repetitivos de até 400.000 solicitações sem falhar.

- **Reciclabilidade:** como os termoplásticos podem ser reprocessados por varias vezes sem alterar significativamente suas propriedades, a reciclagem desses materiais se torna interessante em termos de custos e preservação ambiental.
- **Resistencia ao impacto:** os termoplásticos tem um comportamento dúctil à temperatura ambiente, ou seja, conseguem se deformar de forma significativa até fraturarem. Tal característica pode ser aliada ao grau de cristalinidade dos plásticos para aumentar ou diminuir a capacidade de absorver energia durante o choque (tenacidade), o que faz esse material ser de grande interesse na indústria automotiva para a fabricação de peças de segurança dos automóveis.
- **Baixa condutividade térmica:** termoplásticos não têm elétrons livres, garantindo que esses materiais possam ser usados para isolamentos de redes de energia elétrica, como cabos de transmissão e aparelhos eletrônicos.
- **Propriedades óticas:** os plásticos podem ser translúcidos (amorfo) ou opacos (semicristalinos), isto é, a capacidade desses materiais de permitirem a passagem da luz depende do grau de cristalinidade. Alguns desses termoplásticos podem ser processados durante a produção para aumentar ou diminuir o grau de cristalinidade dos mesmos. A capacidade de serem transparentes, aliada a alta resistência ao impacto dos polímeros amorfo, fez com que esses materiais fizessem com grande qualidade a substituição de materiais cerâmicos das garrafas de vidro e das lentes de óculos.

7.3 Termofixos

Termofixos (ou termorrígidos) são materiais que adquirem plasticidade por meio de calor (termo), são moldados e ao se resfriarem retém permanentemente a forma na qual foram moldados (fixos). Se forem aquecidos novamente, não mais amolecerão, e se a temperatura de aquecimento for suficientemente alta, serão destruídos, sem, contudo voltar a adquirir plasticidade. Portanto, quando um termofixo é formado, geralmente com calor e pressão, ele não mais poderá ser fundido e novamente formado. Uma resina termofixa é obtida através de reações de polimerização, são fornecidas em grãos para serem processadas e transformadas no produto final através do processo de injeção. [GUEDES e FILKAUSKAS, 1986].

Segundo Wiebeck e Harada (2005), os termofixos são utilizados na indústria automotiva como matriz para compósitos reforçados com fibras, principalmente as de vidro. Alguns exemplos de componentes veiculares fabricados com materiais termofixos reforçados com fibras de vidro são spoilers, capotas, tetos solares, entre outros. O uso dos termofixos nas aplicações automotivas não é mais acentuado devido aos fatores peso e impossibilidade de reprocessamento, que fogem do que os fabricantes de automóveis buscam (redução de peso veicular e matérias que podem ser recicladas).

8. PEÇAS PLÁSTICAS AUTOMOTIVAS

8.1 Fatores consideráveis de um projeto

Guedes e Filkauskas (1986) relatam que quando se pensa na utilização da energia gasta por um automóvel para fazê-lo movimentar, isto é, quanto de combustível é realmente destinado somente para que o carro ande, encontram-se valores que não superam 25% da energia produzida pela combustão. Para tentar diminuir as perdas dessa energia, as indústrias automotivas podem investir em motores mais eficientes ou investir em materiais que diminuam o peso do veículo, sendo esta última alternativa bem mais viável economicamente e com mais vantagens indiretas que a primeira opção.

Para produzir peças poliméricas, o primeiro passo para que um projeto de um produto se transforme de uma ideia para uma realidade é analisar sua relação aplicabilidade versus custo, ou seja, deve-se estudar a capacidade funcional da peça (necessidade do produto, desempenho) e os custos (matéria prima, fabricação, mão de obra).

Após a definição de que uma peça será produzida, é preciso imaginar como o molde representará o seu desenho e qual processo de fabricação utilizar, pois tais detalhes são cruciais para um preenchimento adequado do material fundido em todas as cavidades do molde. Tais fatores também influenciam no resfriamento do material e como será a qualidade final da peça produzida, garantindo que o produto não fique aderido ao molde, não fique mal preenchido, não precise ser feito procedimento adicional ou execução de acabamento trabalhoso.

Uma vez definido o processo de fabricação a ser utilizado, é necessário analisar algumas propriedades dos polímeros a serem utilizados, tanto durante seu processamento quanto sua utilização, como:

- Capacidade de transformação do plástico: é necessário que o material seja capaz de mudar de forma através do uso do calor ou de esforço mecânico, sem alterar suas propriedades finais.
- Propriedades mecânicas e química: após moldado, o plástico deve estar apto as solicitações mecânicas (principalmente ao impacto) e químicas existentes em suas situações de uso.
- Custo de todo processo de fabricação: a produção da peça deve ser a mais adequada, ou seja, deve garantir a integridade dos produtos aliada ao menor gasto possível.
- Estabilidade dimensional da peça: o produto deve manter sua forma quando solicitado mecanicamente ou quimicamente.
- Resistência às intempéries: principalmente as peças externas dos automóveis, que estão expostas as ações do tempo, como chuva, frio e calor.
- Resistência ao fogo: principalmente para componentes expostos ao calor, aos combustíveis e próximos ao motor.
- Odor e toxicidade: como tratam-se de materiais que são expostos aos usuários dos automóveis, as peças não podem ter cheiro forte e/ou desagradável e não podem ter toxicidade.
- Preço final do produto: devem ser componentes que não aumentem no valor final de um automóvel.

Ainda de acordo com Guedes e Filkauskas (1986), além de todas essas etapas, o produto deve ser testado com ensaios que representem adequadamente suas situações de usos para assegurar sua qualidade em termos de desempenho, principalmente em relação à segurança dos ocupantes dos automóveis.

É de tamanha importância analisar a integridade física dos passageiros porque uma vez que uma das principais vantagens do uso dos plásticos nos veículos é a redução do peso, este benefício pode trazer riscos em uma colisão, pois corpos de menor peso tendem a sofrer paradas mais abruptas do que corpos com maior quantidade de massa. Em outras palavras, caso veículos mais leves sejam feitos com materiais incorretos (com baixa absorção de energia), eles tendem a sofrer desacelerações em um tempo muito curto, o que não preservaria a vida dos ocupantes.

8.2 Processo de injeção plástica

Segundo Callister (2007), injeção plástica é o método de fabricação mais utilizado para produzir peças de automóveis. Trata-se de um processo que consiste no aquecimento de um material termoplástico até que o mesmo fique fundido e seja homogeneizado e logo depois injetado em um molde com formato da peça desejada, onde o plástico é resfriado e o produto é ejetado já solidificado. O processo de injeção plástica é o mais eficaz, moderno e versátil método de produção de peças poliméricas. Tais características são relativas à capacidade que esse método tem de reproduzir fielmente o desenho do molde, produzir peças em tamanhos variados, desde pequenos botões à para choques, com formas geométricas bem complexas e em grande escala. Além dessas vantagens que a injeção apresenta, a indústria automotiva utiliza esse método por ser um dos únicos que conseguem produzir peças praticamente perfeitas, com boas propriedades mecânicas e aspecto visual satisfatório, garantindo a qualidade que tais indústrias buscam ao planejarem fabricar certo produto.

9 POLÍMEROS UTILIZADOS EM AUTOMÓVEIS

De acordo com a EIU (*Economist Intelligence Unit*), as resinas que atualmente são mais utilizadas em peças de automóveis são: polipropileno, policloreto de vinila, poliuretano e os termoplásticos de engenharia, além de suas composições como compósitos aditivados com cargas. A tabela 8 mostra qual a proporção da utilização dos plásticos nas partes dos automóveis e na tabela 9 é possível ver que o polipropileno e suas misturas compostas são os principais polímeros dentro da relação dos mais usados nos automóveis fabricados no Brasil

Tabela 8 – Distribuição de peças plásticas nos veículos.

APLICACÃO	%
Equipamentos internos	63
Corpo externo	15
Motor	9
Sistema elétrico	8
Chassi	5

Fonte: Relatório BNDES.

Tabela 9 – Porcentagem dos plásticos utilizados em automóveis fabricados no Brasil.

Material	%	Aplicação
PP e compostos	35,0	pára-choques, painel de instrumentos, apóia-braço, carcaça de farol, revestimentos internos, filtro de ar, caixa de ar, caixa de bateria
Fibras	16,0	tecidos, tapetes, cinto de segurança
PVC	13,5	revestimentos internos laminados, chicotes e cabos elétricos, frisos
PUR	12,5	espumas de bancos, volantes espumados, apóia-cabeça
ABS	6,5	grade, console, componentes do painel, corpo das lanternas
PA	5,5	calota, cinzeiro, presilhas, caixa de fusíveis, tubo de combustível, radiador
PE	2,0	reservatórios de água e partida à frio e conectores
Acrílico	1,5	lanternas, quadro de instrumentos
PBT, ABS+PC, Noryl	1,5	grade do radiador
POM	1,0	indicador de nível de combustível, maçanetas, presilhas, pequenas peças mecânicas
Diversos	5,0	-
Total	100	-

Fonte: O uso de componentes plásticos pela indústria automotiva - BNDES.

9.1 Plásticos compósitos (plásticos reforçados)

Cientistas e engenheiros têm estudado formas de combinar vários metais, cerâmicas e polímeros para produzir uma nova geração de materiais, na maioria das vezes para a melhoria de combinações de características mecânicas como: rigidez, tenacidade, resistência a altas temperaturas e à temperatura ambiente. Muitos compósitos são formados por duas fases: uma fase contínua denominada matriz e uma outra descontínua denominada fase dispersa, sendo que suas propriedades variam em função de suas fases constituintes, de suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa, isto é, de sua forma, tamanho, distribuição e orientação. Podemos classificar os materiais compósitos em: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados por fibras e compósitos estruturais. [WIEBECK e HARADA, 2005].

Conforme Wiebeck e Harada (2005), para materiais compósitos de matriz polimérica as fibras de vidro são os reforços mais utilizados na indústria automotiva, seguidos pelos compósitos com adição de talco. O baixo custo em comparação com outros reforços não é certamente a única razão dessa preferência, pois suas propriedades atendem uma ampla variedade de aplicações. Os materiais compósitos constituído de fibras de vidro possuem baixo coeficiente de dilatação térmica, boa resistência ao impacto, alta resistência a tração e uma notável flexibilidade de conformação e, em determinados casos, de manutenção. As funções da matriz polimérica em materiais compósitos reforçados com fibras são:

- Unir as fibras e funcionar como agente que transmite e distribui às fibras a tensão aplicada, sendo que apenas uma pequena proporção desta carga é sustentada pela fase

matriz. O material polimérico da matriz deve ser dúctil e o módulo de elasticidade da fibra deve ser muito superior ao da matriz.

- Proteger as fibras da abrasão mecânica superficial e dos contatos químicos com o ambiente.
- Separar as fibras e em virtude disso, sua relativa maciez e plasticidade, previnem a propagação de trincas de fibra para fibra, isto é, funcionar como uma barreira à propagação de trincas.

Segundo Callister (1991), a fibra de vidro é relativamente forte, e quando embutido numa matriz de plástico, produz um compósito tendo uma resistência mecânica específica muito alta. Indústrias automotivas estão utilizando crescentes quantidades de plásticos reforçados com fibras de vidro num esforço para diminuir o peso de veículo e elevar eficiências de combustível, sendo principalmente aplicadas em carrocerias.

Para Guedes e Filkauskas (1986), o talco (silicato de magnésio hidratado) é utilizado principalmente como reforço para matrizes de polipropileno. Neste termoplástico, o talco, em porcentagens que variam de 10 a 40%, aumenta a rigidez e a temperatura de deflexão ao calor, mantendo igualmente boas as propriedades de resistência à tração, compressão e impacto. Além dessas vantagens, a adição de talco também garante boa qualidade superficial no produto final, baixa contração após moldagem e fácil composição a outros materiais.

9.2 Polipropileno (PP)

Segundo Guedes e Filkauskas (1986), o PP encaixou-se perfeitamente para atender as necessidades das indústrias automotivas devido ao fato de ser um polímero de fácil obtenção e de baixo custo, e principalmente, por ter baixa densidade na temperatura ambiente ($0,91 \text{ g/cm}^3$) e ao mesmo tempo alta resistência ao impacto, justificando sua utilização em para-choques. Pode ser obtido como homopolímero (apenas um monômero) ou copolímero (mais de um monômero, geralmente propeno mais eteno), tem alta resistência química (exceto à ácidos concentrados), boa dureza superficial, boa estabilidade de forma e pode ser misturado com cargas de reforço para aumentar suas propriedades mecânicas. É um polímero que pode ser comprado na forma granulada com sua cor natural (branco) ou em cores variadas. Quando submetido a esforços mecânicos, o polipropileno começa a perder suas propriedades a

aproximadamente 75 °C, o que garante uma boa utilização desse plástico em componentes automotivos.

A tabela 10 mostra a ficha técnica de um polipropileno comercial (EP240N®) utilizado em moldagem plástica por injeção para fabricação de para-choques. Trata-se de um copolímero de média fluidez, com excepcional balanço de rigidez e impacto, excelente estabilidade dimensional e resistência ao impacto mesmo em baixas temperaturas.

Tabela 10 – Ficha técnica do PP EP240N® – Polipropileno Copolímero.

PROPRIEDADES	NORMA	UNIDADE	PP Copolímero
Resistencia a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	18
Alongamento na ruptura	ASTM D638	%	1100
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	1,1
Resistência ao impacto Izod com entalhe: 23 °C	ASTM D256	J/m	500
Dureza Shore D	ASTM D2240	R	65
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	0,903

Fonte : Activas – Distribuição de Resinas Plásticas.

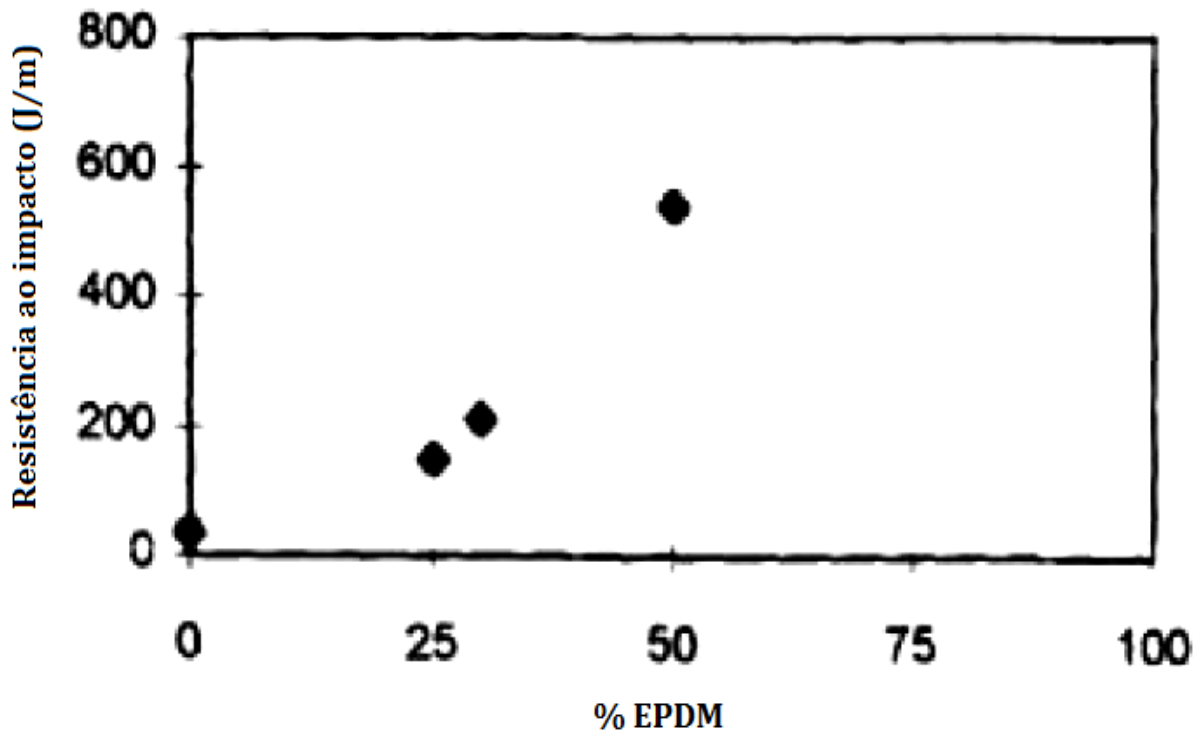
9.2.1 Blenda PP + etileno-propileno-dieno (EPDM)

O polipropileno (PP) apresenta limitações para sua aplicação em baixas temperaturas quanto à resistência ao impacto. Para minimizar esta deficiência, diferentes modificadores de impacto têm sido incorporados, tais como poliisobutileno, poliisopreno, borracha natural, copolímeros em bloco de estireno-butadieno. Copolímeros de etileno-propileno (EPR) e terpolímero de etileno-propileno-dieno (EPDM), mostraram ser mais eficientes nestas aplicações. O uso de elastômeros termoplásticos (TPEs), baseados em blendas de terpolímero de etileno-propileno-dieno (EPDM) e polipropileno (PP), aumentaram muito nos últimos anos. Esta é uma classe especial de TPE que apresenta as características elásticas dos elastômeros, além da reversibilidade térmica e da processabilidade dos materiais termoplásticos. [PIGATTO, 2009].

De acordo com Biagiotti e Manchado (2003), é bem conhecido que a adição de pequenas quantidades de elastômeros melhoram a flexibilidade e a resistência ao impacto do polímero polipropileno, principalmente quando utilizado em baixas temperaturas. Partículas de dimensões pequenas e bem dispersas são mais eficientes que partículas grandes, assegurando que o material tenha menores possibilidades de falhar, pois as partículas pequenas de elastômeros atuam como concentradores de tensão, preservando a matriz e evitando a falha da blenda. Blendas acima de 30% de elastômero são conhecidas por serem

polipropilenos de impacto em que a fase elastomérica está dispersa dentro da matriz contínua de PP. A figura 8 mostra como a variação entre as proporções de PP e EPDM pode modificar a resistência ao impacto das blendas.

Figura 8 – Variação da resistência ao impacto das blendas de PP/EPDM em relação a variação percentual de EPDM



Fonte : Polipropileno e blendas de PP/EPDM reforçadas com fibras curtas de sisal. (PIGATTO, C.).

Segundo Silva e Coutinho (1996), a incorporação de uma fase elastomérica utilizando-se o terpolímero EPDM é capaz de melhorar significativamente a resistência ao impacto do polímero polipropileno (tabela 11). Em utilizações na indústria automotiva, o PP + EPDM é aplicado em peças que sofrem ações de impacto diretas, como por exemplo, tampa do porta luvas e tampa do compartimento de fusíveis. Também são adicionadas cargas de talco em blendas de PP + EPDM, aumentando a temperatura de deflexão ao calor, sendo fabricadas peças automotivas como tampas do filtro de ar (figura 9), guarnições, canaletas, revestimento de colunas e difusores de ar.

Tabela 11 – Propriedades da blenda PP/EPDM.

PP/EPDM (%)	Módulo de Young (MPa)	Resist. Máx. (MPa)	Deform. a resist. Máx. (%)	Resist. na ruptura (MPa)	Deform. na ruptura (%)	Resist. ao escoamento (MPa)	Resist. Ao impacto (kJ/m ²)	
							25 °C	-30 °C
100/0	1038	32,1	9	20,7	81	32,1	3,15	2,63
75/25	597	13,8	26	10,7	97	13,8	21,05	3,68
50/50	150	12,7	538	12,7	542	3,87	36,84	11,84
25/75	18	12,6	1159	11,8	1159	2,75	-	14,73
0/100	7	12,4	1216	12,2	1217	1,62	-	19,68

Fonte: Polipropileno e blendas PP/EPDM reforçadas com fibras curtas de sisal. [PIGATTO, C.].

Figura 9 – Tampa do filtro de ar feita de PP + EPDM + Talco.



Fonte: Materiais Automotivos. [KANTOVISCKI; A.R.].

9.3 Cloreto de polivinila (PVC)

Dentre os inúmeros polímeros e copolímeros do vinil, o cloreto de polivinila, que é um termoplástico, é o que apresenta maior volume em termos de comercialização. Por intermédio de vários plastificantes, enchimentos, estabilizadores, lubrificantes e agentes modificadores de impacto, os termoplásticos de PVC podem ser compostos para se tornarem flexíveis ou rígidos, tenazes ou fortes, de baixa ou alta densidade ou mesmo ter qualquer uma das propriedades de uma ampla faixa de propriedades físicas possíveis ou características de processamento. As resinas de PVC também podem ser cloradas (CPVC) ou ligadas com outros polímeros tais como: ABS, acrílicos, poliuretano, borrachas nitrílicas, etc., com a finalidade de melhorar sua

resistência a impactos, sua resistência ao cisalhamento, sua resiliência, sua temperatura de deflexão sob a ação do calor, ou sua processabilidade. Apesar das possibilidades existentes de variar as propriedades dos PVCs por meio de diferentes compostos, não é possível indicar um composto que lhe seja típico ou característico. Por exemplo, os compostos rígidos não contêm plastificantes, os flexíveis não contêm modificadores de impacto, enquanto que os transparentes não têm enchimento. [ALBUQUERQUE, 2001].

Segundo Guedes e Filkauskas (1986), existem variados tipos de formulações disponíveis para a produção do PVC: os que apresentam maior rigidez são duros, tenazes, tem excelentes propriedades elétricas e boa resistência às intempéries, não são higroscópicos e não sofrem ação facilmente de agentes químicos; os tipos flexíveis apresentam aspecto similar às borrachas, são fáceis de serem processados, são mais baratos, mas tem propriedades mecânicas e químicas desfavoráveis. Na indústria automotiva, a preferência é pelo PVC flexível e alguns dos componentes fabricados são mangueiras, juntas de vedação, revestimento de fios e cabos elétricos, capas de pedal, tapetes (figura 10), alças, tampões, acolchoados de veículos, amortecedores de vibração, entre outros. Os pontos fortes do PVC flexível são:

- Baixa absorção de umidade;
- Pode ser aditivado, soldado, colado, dobrado, usinado, curvado e moldado;
- Isolante elétrico;
- Baixo custo;
- Temperatura de trabalho de -10 °C até 100 °C.

Figura 10 – Tapetes fabricados por injeção plástica de PVC flexível.



Fonte: SilvPlass.Tapetes Automotivos.

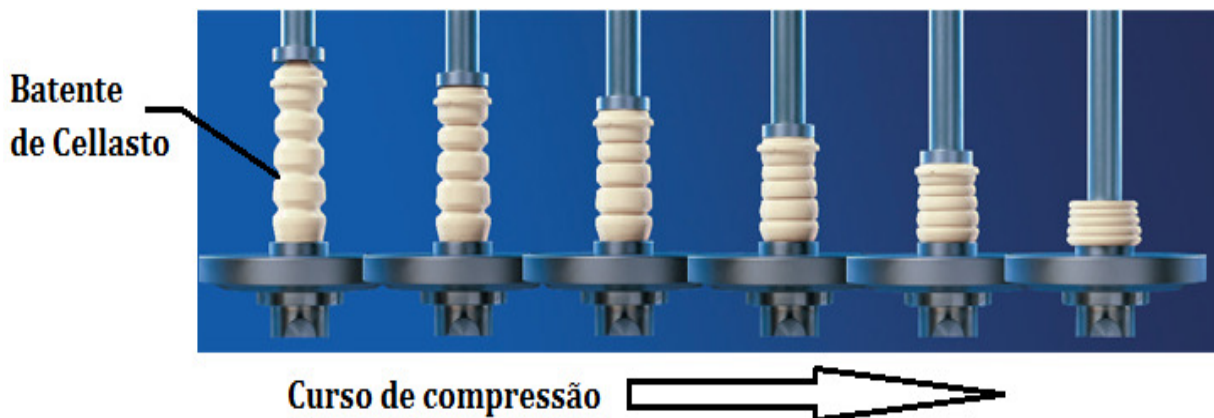
De acordo com Albuquerque (2001), os compostos de PVC flexíveis contêm plastificantes em uma proporção de 20 a 100 partes percentuais. Se por um lado esses aditivos aumentam a flexibilidade desses compostos, por outro lado diminuem a resistência química do material. Porém, do ponto de vista da indústria automotiva, as aplicações para que são destinadas as peças de PVC flexível não estão sujeitas a ambientes com potencial de degradar quimicamente este polímero.

9.4 Poliuretano (PU)

Wiebeck e Harada (2005) relatam que o poliuretano é um polímero classificado como resina plástica mais versátil dentre os polímeros, sendo capaz de ser obtido como termoplástico ou termofixo. É obtido através da reação de uma polimerização conhecida como poliadição que no caso do PU é feita entre dois compostos líquidos: isocianato e poliálcool. A variação feita entre as quantidades desses dois componentes afetam diretamente as propriedades químicas e mecânicas do material produzido, como por exemplo, a escolha de isocianatos com diferentes tipos de cadeias moleculares resultam em poliuretanos resistentes ou não a radiação UV. O PU é capaz de ter estruturas que vão de rígidas a flexíveis, dependendo de sua formulação química e da utilização ou não de cargas e aditivos. Na indústria automotiva o PU é utilizado como espuma dos bancos, do painel de instrumentos, do volante, da carroceria, dos pára-choques, de componentes de amortecimento, entre outras.

Um produto de sucesso no mercado automotivo é o PU Cellasto®, desenvolvido pela companhia BASF. É um material utilizado como batentes dos carros para reduzir o impacto causado quando os amortecedores chegam ao final do curso. Tal utilização é justificada pela capacidade que o Cellasto® tem de ser comprimido com expansão lateral mínima (figura 11), baixo endurecimento dinâmico, alta resistência à abrasão e de ser resistente a óleos e graxas. O Cellasto® ainda é aplicado, na indústria automotiva, como molas auxiliares dos chassis e para redução NHV (Ruído, Vibração e Aspereza).

Figura 11 – Batente de Cellasto® utilizado nos sistema de amortecimento.



Fonte: BASF - The Chemical Company.

De acordo com Guedes e Filkauskas (1986), dentre as espumas de PU utilizadas nos automóveis, as dos bancos são as que mais variam o grau de rigidez, dependendo do tipo de conforto buscado pelo projeto de desenvolvimento do automóvel, contudo, independente da rigidez dos assentos, todas essas espumas não apresentam deformação plástica considerável. Já as espumas do volante e do painel central e lateral são mais rígidas para não sofrerem deformação elástica com qualquer aplicação de esforço. As espumas utilizadas na carroceria dos automóveis tem a intenção de reduzir o ruído interno, devido ao seu bom isolamento acústico, além de reduzir também a vibração do veículo. Já o PU dos pára-choques são mais rígidos do que das outras espumas utilizadas no mesmo veículo, pois nessa peça o interessante é a propriedade de absorção de energia durante o impacto.

Segundo Wiebeck e Harada (2005), o poliuretano é um dos polímeros que conseguiu um lugar de destaque em todo automóvel fabricado, pois além de participar da confecção de componentes internos diretamente ligados ao conforto e ao design, esse material é um grande contribuinte da segurança veicular por ter grande absorção de energia durante uma colisão, tanto em componentes rígidos quanto flexíveis, como pode ser visto na tabela 12.

Tabela 12 – Propriedades mecânicas do Poliuretano.

PROPRIEDADE	ASTM	UNIDADE	MÓDULO
Módulo elástico	D638	MPa	69 - 690
Módulo de flexão	D790	MPa	69 - 690
Resistencia a tração	D638	MPa	1 - 69
Resistencia a compressão	D695	MPa	138
Resistencia a flexão	D790	MPa	5 - 31
Elongação	D638	%	100 - 1000
Dureza (Shore A) flexível	D638	-	10 - 13
Dureza (Shore A)	D638	-	90
Resistência ao impacto Izod com entalhe: 23 °C	D256A	J/cm	13,3 - 0

Fonte: Plásticos de engenharia: Tecnologia e aplicações. (Wiebeck, H; Harada, J.).

9.5 Acrilonitrila butadieno-estireno (ABS)

Segundo Wiebeck e Harada (2005), trata-se de um polímero composto, ou seja, um copolímero. É formado por três monômeros diferentes (terpolímero): acrilonitrila, butadieno e estireno. O ABS é um plástico que apresenta a capacidade de variar suas propriedades através da variação da proporção entre seus três monômeros (figura 12), como resistência ao impacto, rigidez, estabilidade dimensional e dureza.

Figura 12 – Relação entre as propriedades e as proporções dos monômeros do ABS.



Fonte: Principais Características das blendas poliméricas fabricadas no Brasil. (Simielli, E. R.).

O termoplástico ABS é amorfo e de custo médio, são duros, rígidos e tenazes, mesmo a baixas temperaturas. São encontrados em vários tipos que apresentam diferentes níveis de resistência a impactos, ao calor, retardamento de chama e de capacidade de galvanização. A maioria das resinas de ABS varia de translúcida a opaca, mas elas também podem ser produzidas em tipos transparentes, podendo ser pigmentadas para produzir praticamente todas as cores. Cede plasticamente quando submetidos a grandes esforços, de modo que o problema de alongamento raramente adquire importância significativa em seus projetos. Normalmente, a peça pode ser curvada além do seu limite de elasticidade sem que venha a se romper, embora enfraqueça por fadiga. Embora não sejam consideradas como flexíveis, as peças em ABS apresentam suficiente efeito de mola para absorver ou atender as exigências de montagem efetuadas por pressionamentos. [ALBUQUERQUE, 2001].

De acordo com Albuquerque (2001), os polímeros de ABS destinadas a uso geral podem ser adequados para determinados tipo de aplicações às intempéries, mas uma prolongada exposição gera alteração de coloração e perda de brilho, resistência ao impacto e ductilidade. É possível tornar estes termoplásticos resistentes a ação do tempo por meio de certos métodos de revestimento. Peças de ABS são praticamente inertes a de água, sais, à maioria dos sais orgânicos e gases.

Como relatam Wiebeck e Harada (2005), o ABS absorve quantidades significativas de umidade e apresenta boa reprodução de suas propriedades mecânicas (resistência ao impacto, resistência a tração, dureza e modulo de elasticidade) na faixa de -40 a 150 °C, porém a temperatura de uso permanente não deve ser superior a 80 °C pra evitar deformações. A densidade deste plástico é 1,05 g/cm³, não apresenta fluência em tensões até 15 MPa, tem pouca contração após moldado, não apresentando praticamente nenhuma marca de chupagem, o que faz esse plástico ser utilizado comumente em peças que exigem um boa aparência. É um tipo de plástico que pode ser *silgado*, pintado, metalizado e cromado. Dentro da indústria automotiva, o ABS é usado bastante em peças internas de tamanhos pequenos à médios, como nas grades e botões que compõe o painel, tampa de porta luvas e cobertura de rádios. Resinas de ABS cromadas têm substituído metais fundidos sob pressão em blindagens de guarnições, maçanetas de portas e retrovisores externos e interno. A tabela 13 mostra as propriedades do ABS com alta resistência ao calor utilizado comumente para peças internas.

Tabela 13 - Propriedades do terpolímero ABS com alta resistência ao calor.

PROPRIEDADES	NORMA	UNIDADE	ABS
Resistencia a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	58
Resistencia a flexão	ASTM D790	MPa	820
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2,5
Resistência ao impacto Izod com entalhe: 23 °C	ASTM D256	J/m	29
HDT	ASTM D648	°C	92
Vicat	ISSO 306	°C	98

Fonte: Sabic Innovative Plastics.

9.6 Policarbonato (PC)

Segundo Simielli e Santos (2010), dentro da indústria automotiva, o PC é um dos termoplásticos de engenharia amplamente usado, principalmente em para brisas e janelas laterais por ter ótima transparência e praticamente não manchar e quando pigmentado, é utilizado em peças internas como a moldura da luz interna. Trata-se de um tipo de polímero amorfo, geralmente fornecido para beneficiamento na forma de pós ou grãos. Tem densidade de 1,2 g/cm³ está entre os polímeros com maior resistência ao impacto, sendo tenaz e capaz de manter sua estabilidade dimensional a temperaturas de até 135 °C. Tem ótimo brilho superficial e dureza, não sofre ações da intempérie, é impermeável a gases e pode ser processado por praticamente todos os tipos de meios existentes. O grande inconveniente do PC é o seu alto custo, tanto como matéria prima quanto no gasto de energia para sua moldagem, porém tem grande facilidade de ser misturado com outros polímeros para poderem ser utilizadas suas desejadas propriedades.

O módulo de flexão elevado (para um termoplástico) e a resistência ao impacto muito alta são as características mais interessante do policarbonato. Possui resistência à tração e compressão próximas e permite um alongamento cinco vezes maior que o permitido para um ABS, poliamida ou poliacetal. Os policarbonatos apresentam também grande resistência a calor, retardo de chama mesmo sem aditivos específicos e excelentes propriedades elétricas. Esta combinação de propriedades do PC é mantida por longo tempo sob uma ampla faixa de temperatura, frequência e umidade. Propriedades como isolante de alta frequência a temperatura ambiente são conseqüências da elevada Tg e da presença dos dipolos diretamente unidos à cadeia principal do polímero. As peças de policarbonato moldadas apresentam aspecto agradável e superfície lisa e vítrea. Este polímero

apresenta ainda, a vantagem de ser refratário às manchas e impede a penetração de fungos e bactérias. [WIEBECK E HARADA, 2005].

Um PC comercial utilizado em lentes automotivas/painéis e janelas transparentes é o Lexan®, pois quando a transmitância de luz é um fator chave, esse termoplástico oferece a melhor porcentagem de luz passante. A tabela 14 mostra a ficha técnica do Lexan®, série LS3, além de ser usado em tetos panorâmicos de carros esportivos, também é utilizado em fabricações de janelas laterais e traseiras de automóveis populares, lentes de faróis e lanternas, sendo possível observar o alto índice de transmissão de luz desse termoplástico.

Tabela 14 – Ficha técnica do Lexan® - Série LS3.

PROPRIEDADES	NORMA	UNIDADE	ABS/PC
Resistência a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	62
Alongamento na ruptura	ASTM D638	%	135
Resistência a flexão	ASTM D790	MPa	97
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2,4
Resistência ao impacto Izod com entalhe: 23 °C	ASTM D256	J/m	920
Dureza Rockwell	ASTM D785	R	118
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	1,2
Absorção de umidade (24h)	ASTM D570	%	0,15

Fonte: Sabic Innovative Plastics.

9.7 Blenda PC/ABS

Como dito anteriormente, o processamento do PC é muito custoso, e sua combinação com o ABS diminui tal inconveniente e ainda possibilita a obtenção de produtos com grande qualidade de acabamento superficial aliado as boas propriedades mecânicas do PC.

De acordo com Simielli (1993), a blenda PC/ABS surgiu na década de 70 visando suprir o vazio do mercado em termos de custo/desempenho entre dois polímeros e competir com a crescente penetração das blendas de poliestireno de alto impacto. As propriedades dos diferentes tipos de blenda PC/ABS são determinadas, principalmente, pelo tipo e teor do PC e da proporção entre os monômeros acrilonitrila butadieno e estireno (tabela 15). De uma maneira geral, as blendas PC/ABS disponíveis no mercado, caracterizam-se por apresentar:

- Elevada resistência ao impacto (200 - 600J/m);

- Elevada resistência térmica (HDT à 1,82MPa de 105-120 °C);
- Alta rigidez;
- Alta dureza;
- Excelente estabilidade dimensional;
- Baixa contração de moldagem;
- Brilho superficial.

Tabela 15 – Variação das propriedades da blenda PC/ABS com a variação do teor de ambos.

PROPRIEDADES	NORMA	UNIDADE	ABS/PC (50/50)	ABS/PC (35/65)	ABS/PC (25/75)
Resistência a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	45	50	55
Alongamento na ruptura	ASTM D638	%	40	45	50
Resistência à flexão	ASTM D790	MPa	75	80	85
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2,3	2,3	2,3
Resistência ao impacto Izod com entalhe: 23 °C	ASTM D256	J/m	300	480	570
Dureza Rockwell	ASTM D785	R	119	119	119
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	1,13	1,15	1,16
Absorção de umidade (24h)	ASTM D570	%	0,2	0,18	0,17

Fonte: Plásticos de engenharia: Principais tipos e sua moldagem por injeção. (Simielli, E.R.; Santos, P.A.).

Segundo Simielli e Santos (2010), a variação da resistência ao impacto Izod com entalhe, em uma temperatura que varia de -30 a 30 °C é de 50%. Tal fato mostra que é uma blenda polimérica com ótima tenacidade, mesmo em baixas temperaturas. Resiste até 140 °C e pode ser tratada superficialmente com galvanização de cromo ou ser pintada, sendo que tem boa resistência à incidência de raios UV, o que garante que a peça não sofra deterioração de tais acabamentos. Blendas de PC/ABS reforçadas com fibras de vidro geram um grande aumento na rigidez e na resistência à tração, à flexão e fluência sob carga. Os tipos de reforços mais usuais contam com 10 a 20% de fibra de vidro, sendo utilizados em aplicações automotivas como reforço de porta luvas e painel de instrumentos.

O consumo desta blenda polimérica vem crescendo muito a nível mundial, principalmente em função da maior facilidade de pintura, colagem e soldagem que proporcionam quando comparadas à grande parte das blendas conhecidas. Como exemplos de aplicações destacamos grades para auto falantes, carcaça de lanternas para automóveis, canais de ar, calotas, apliques de para choques, componentes do painel de instrumentos, entre outras. [SIMIELLI, 2003].

Automóveis que com a opção de personalização de cor e componentes, tem utilizado a blenda de PC/ABS (Cycloy® IP1000) nos componentes internos, onde a aparência e durabilidade são essenciais, como no painel de instrumentos e em suas adjacências (figura 13).

Figura 13 – Painel e suas adjacências feitas de Cycloy ® do carro Smart Forfour.



Fonte: Autoplus.fr

9.8 Poliamidas (PA 6 e PA6.6)

De acordo com Guedes e Filkauskas (1986), as poliamidas, também conhecidas pelo nome comercial Nylon, são termoplásticos obtidos pela polimerização do benzeno. As poliamidas fazem parte dos primeiros termoplásticos que ganharam atribuições de auto-lubrificantes, ou seja, um tipo de material capaz de servir de apoio a peças móveis, geralmente metálicas, sem a necessidade de se empregar lubrificantes. Os inconvenientes das poliamidas (fluidez a frio e propriedades higroscópicas) são facilmente evitados quando cargas são adicionadas.

Aplicações típicas na indústria automotiva com os tipos de poliamidas incluem maçanetas, puxadores e componentes de fechaduras das portas dos veículos. Aplicações no compartimento do motor englobam recipientes para água, óleo lubrificante, carcaças de filtros de gasolina, ventoinhas do radiador, caixas de água do radiador, sistemas de aquecimento/ resfriamento e outros. Os principais critérios para seleção do material de preferência aos demais termoplásticos de engenharia são: alta resistência mecânica sob condições de fadiga e impacto repetitivo, resistência a temperaturas elevadas e ambientes agressivos de serviço e custo relativamente baixo da resina. Uma aplicação que se desenvolveu bastante nos últimos anos foram as calotas de rodas de PA reforçadas tanto com fibra de vidro quanto com carga mineral. [WIEBECK E HARADA, 2005].

Segundo Albuquerque (2001), devido a capacidade que as poliamidas tem de absorver umidade, esse material pode ter redução de sua resistência e rigidez e aumento de seu alongamento e resistência ao impacto. O nylon 6 e 6.6 atinge o estado de equilíbrio com teor de umidade de 2,5% e de teor de umidade relativa do ar de 50%. As dimensões das poliamidas variam entre 0,2% a 0,3% para cada 1% de umidade absorvida por este polímero. Uma maneira simples de se retirar a umidade das poliamidas é colocando-as em estufas antes de serem processadas entre 2 e 4 horas, desta forma é possível garantir que as peças fabricadas não estarão afetadas pela propriedade higroscópica das poliamidas. A tabela 16 mostra as propriedades das principais poliamidas utilizadas na indústria automotiva.

Tabela 16 – Propriedades das poliamidas utilizadas em peças automotivas.

PROPRIEDADES	NORMA	UNIDADE	PA 6	PA 6.6	PA 6.6 + 30% DE FIBRA DE VIDRO
Resistência a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	50	70	150
Alongamento na ruptura	ASTM D638	%	100 - 300	60 - 300	4 - 6
Resistência a flexão	ASTM D790	MPa	100	100	262
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2	2,1	9
Resistencia ao impacto Izod com entalhe: 23°C	ASTM D256	J/m	55	75	95
Dureza Rockwell	ASTM D785	R	120	105	120
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	1,13	1,06	1,37
Absorção de umidade (24h)	ASTM D570	%	1,6	0,3	0,8

Fonte: Plásticos de engenharia: Principais tipos e sua moldagem por injeção. (Simielli, E.R.; Santos, P.A.).

Guedes e Filkauskas (1986) afirmam que a utilização de cargas ou aditivos na produção das poliamidas possibilitam a viabilidade desse polímero ser mais utilizado do que em sua forma natural, pois tais cargas e aditivos, além de evitar a fluidez a frio e diminuir a higroscopia, também aumentam o módulo de uma variedade de propriedades mecânicas. Para peças da indústria automotiva, as cargas utilizadas são as fibras de vidro e as peças produzidas são para fins estruturais, como por exemplo, o coletor de entrada (figura 14), onde a substituição do material metálico obtém uma redução de peso e de custo por volta de 30%. Outras aplicações são em alavancas, componentes dos chassis e engrenagens. A adição de fibras de vidro pode chegar a um máximo de até 60% para o nylon 6.6, causando um aumento do limite de escoamento de 83 MPa para 228 MPa. Teores de adição em peso acima de 60% podem impedir o processamento deste compósito. A adição de fibras de vidro causa as seguintes alterações nas características das poliamidas naturais sem cargas:

- Diminuição da higroscopia e fluidez a frio;
- Aumento da estabilidade dimensional;
- Aumento da resistência térmica;
- Aumento da resistência ao desgaste;
- Aumento da resistência ao impacto;
- Aumento da resistência à tração.

Figura 14 – Coletor de entrada de um veículo.



Fonte: Materiais Automotivos. [KANTOVISCKI; A.R.].

9.9 Polietileno (PE)

Segundo Albuquerque (2001), polietilenos têm suas propriedades influenciadas pela quantidade de fases amorfas e cristalinas, podendo ser encontrados em uma grande variedade de tipos, em baixa, alta, ultra baixa e ultra alta densidade. Alguns têm grande flexibilidade enquanto outros são rígidos, alguns são praticamente inquebráveis enquanto alguns outros tem pouquíssima resistência ao impacto, existem alguns quase transparentes e alguns totalmente opacos. Em geral, os polietilenos se caracterizam por suas altas tenacidades, excelentes resistência a agentes químicos, baixo coeficiente de atrito, higroscopia praticamente inexistente e fáceis de serem processados, independentemente do método de fabricação empregado. Outro fator que desperta atenção para a utilização dos polietilenos é a ampla faixa de temperatura de uso, que pode ser de -40 °C até 96 °C.

9.9.1 Polietileno de baixa densidade (PEBD)

De acordo com Billmeyer (1984), os polietilenos mais utilizados na indústria automotiva são os de baixa densidade. São polímeros semi cristalinos (cristalinidade entre 50 e 60%), com temperatura de fusão (T_m) entre 110 e 115 °C. Podem ter cadeias ramificadas ou lineares (PEBDL), sendo que a diferença entre os dois tipos é o grau de cristalinidade (maior para os ramificados). Os PEBDs também apresentam uma combinação de propriedades (tabela 17) interessantes, como alta tenacidade, alta resistência ao impacto, alta flexibilidade, fácil processamento, estabilidade dimensional e resistência dielétrica notável. As aplicações deste polímero na indústria automotiva são em revestimentos de fios e cabos, mangueiras, filmes separadores, reservatório de água e de óleo, conectores, protetores de componentes móveis, anéis de vedação e buchas.

Tabela 17 – Propriedades características dos polietilenos de baixa densidade.

PROPRIEDADES	MÉTODO	UNIDADE	PEBD
Resistência a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	6,2 - 16
Alongamento na Ruptura	ASTM D638	%	100 - 800
Módulo elástico	ASTM D790	MPa	102 - 240
Dureza Shore D	ASTM D676	-	40 - 50
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	0,912 - 0,925

Fonte: Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 1, p. 1-13, 2003.

9.10 Polimetacrilato de metila (PMMA)

Segundo Albuquerque (2001), os plásticos acrílicos têm a capacidade de transmitir e controlar a luz, são resistentes às intempéries, alta estabilidade dimensional e variadas combinações de propriedades estruturais e térmicas. Apresentam a mesma transparência que os mais finos vidros óticos. Sua transmitância de luz chega a 92% e tem índice de refração de 1,9, suficientemente alto para utilização em lentes. É possível adicionar corantes para aumentar a duração quando em situações de exposição às intempéries. As propriedades mecânicas dos acrílicos são elevadas quando cargas aplicadas são de curto prazo. Elevados módulos de tensões aplicadas podem ser tolerados, mas por períodos curtos. A moderada resistência ao impacto é mantida até em temperaturas extremamente baixas e os acrílicos de alto impacto apresentam resistência de até 10 vezes maior que dos de uso comum. São plásticos considerados extremamente resistentes a arranhões e riscos. A tenacidade das peças de acrílico pode ser facilmente melhorada apenas realizando a orientação molecular durante os processos de conformação, principalmente na produção de chapas. Na indústria automotiva, os acrílicos são usados nas lentes dos faróis, painéis de instrumentos e triângulos de segurança.

A figura 15 mostra um carro conceito fabricado pela Lexus, uma divisão de carros de luxo e de carros conceito da japonesa Toyota. Chamado de *L-Finesse Crystallised Wind*, o automóvel é um modelo artístico de um superesportivo totalmente fabricado em polimetacrilato de metila, não chegando a pesar 4,5 quilos.

Figura 15 – L-Finesse Crystallised Wind, modelo de um superesportivo fabricado totalmente em acrílico.



Fonte: Revista Galileu: Tecnologia e Design.

9.11 Politereftalato de butileno (PBT)

Segundo Wiebeck e Harada (2005), o PBT, também conhecido como politetrametilenotereftalato (PTMT), é um poliéster termoplástico semicristalino e é um dos dois poliésteres termoplásticos mais importantes para o setor de plásticos (o outro é o politereftalato de etileno – PET). Devido a sua natureza semicristalina, não sofre degradação da maioria dos compostos orgânicos em temperaturas moderadas e a de ácidos diluídos e bases fracas na temperatura ambiente. Todos os poliésteres possuem baixa absorção de água. PBT oferece uma ampla faixa de propriedades, dentre elas resistência química, propriedades elétricas estáveis, rigidez e resistência mecânica que favorece a sua utilização na indústria automotiva. É utilizado em componentes externos como grades, pára choques, manopla do cambio e componentes para portas, janelas e espelhos (mecanismos internos dos espelhos retrovisores), molduras de farol e braços dos limpadores de pára brisa. É aplicado também em componentes do sistema de ignição, conectores, no sistema de freio e na bomba de água. Quando sua alta resistência à abrasão é considerada, este polímero ainda encontra aplicações em buchas e engrenagens. A tabela 18 reúne as principais propriedades mecânicas do PBT.

Tabela 18 – Propriedades características do polímero PBT.

PROPRIEDADES	MÉTODO	UNIDADE	PBT	PBT + 30 FV	PBT anti chama
Resistência a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	35	115	40
Alongamento na Ruptura	ASTM D638	%	300	3	80
Resistência à flexão	ASTM D790	MPa	70 - 90	200	45
Resistência ao impacto Izod com entalhe	ASTM D256	J/m	50	100	43
Dureza Rockwell	ASTM D785	R	117	118	120
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	1,31	1,53	1,41

Fonte: Plásticos de engenharia: Principais tipos e sua moldagem por injeção. (Simielli, E.R.; Santos, P.A.).

9.12 Noryl® ou Polióxido de fenileno (PPE)

A empresa Sabic Innovative Plastics, da Arábia Saudita, possui todos os direitos sobre o polímero polióxido de fenileno, conhecido pelo nome comercial Noryl. De acordo com a própria Sabic “a família Noryl de resinas de PPE modificadas é composta de combinações amorfas de resinas de éter polifenileno e poliestireno. Elas combinam os benefícios inerentes da resina de PPO (pacotes econômicos de alta resistência ao calor, boas propriedades elétricas, excelente estabilidade hidrolítica e capacidade de uso de FR isento de halogênio), com excelente estabilidade dimensional, boa capacidade de processamento e baixa gravidade específica. As resinas Noryl oferecem um bom equilíbrio entre as propriedades mecânicas e químicas, e podem ser adequadas para uma grande variedade de aplicações. ”

A alta rigidez estrutural das moléculas de polióxido de fenileno dá lugar a um material com elevada Tg, da ordem de 208 °C. Porém, a presença de uma transição secundária à -116 °C permite um pequeno grau de mobilidade molecular à temperatura ambiente, o que confere ao polímero no sólido certo grau de tenacidade. Logo após a polimerização, o produto é um material cristalino com Tm de 257 °C. A relação Tg/Tm é de 0,91, sendo a mais alta que se conhece. Por esta razão, este polímero não tem tempo para se cristalizar quando passa do estado fundido para o sólido. Assim, após o processamento, geralmente apresenta uma estrutura amorfa, a qual pode ser cristalizada quando se facilita os movimentos moleculares, através da elevação da temperatura ou mediante a utilização de solventes. Este polímero apresenta a menor absorção de umidade dentre os chamados plásticos de engenharia e excelente estabilidade hidrolítica, podendo ser utilizado imerso em água até 100 °C, por longos períodos. [SIMIELLI e SANTOS, 2010].

Segundo Wiebeck e Harada (2005), a boa estabilidade dimensional e excelentes propriedades dielétricas permitem o uso do Noryl em partes elétricas como nos cabos dos conectores e nos soquetes. Porém, após o aparecimento das blendas de alto impacto produzidas com o polímero PPE, geraram maior campo de aplicações nos automóveis, como nos painéis de instrumentos, consoles, alojamentos de alto falantes e grades do radiador. Já nos sistemas de resfriamento, são empregados grades reforçados com fibra de vidro para a fabricação de radiadores e tanques. Além dessas aplicações, o Noryl também tem sido utilizado recentemente em componentes externos, como nas entradas e saídas de ar, nas carcaças externas de espelhos, entre outros. A tabela 19 mostra a ficha técnica do Noryl 731, utilizado para produção de componentes do painel de instrumentos de automóveis.

Tabela 19 – Propriedades características dos polioxido de fenileno Noryl 731.

PROPRIEDADES	MÉTODO	UNIDADE	Noryl 731
Resistência a tração na ruptura	ASTM D638	Kgf/cm ²	500
Alongamento na Ruptura	ASTM D638	%	7,2
Resistência à flexão	ASTM D790	MPa	27
Resistência ao impacto Izod com entalhe	ASTM D256	J/m	21
Dureza Rockwell	ASTM D785	R	119
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	1,06

Fonte: Sabic Innovative Plastics

9.13 Polioximetileno ou Poliacetal (POM)

Poliacetais ou polioximetilenos são polímeros derivados do formaldeído ou do trioxano. Além dos homopolímeros, existem também os copolímeros, que, normalmente utilizam pequenas porcentagens de óxido de etileno como comonômeros. Os poliacetais possuem propriedades características dos polímeros de alta massa molar. Os tipos comuns possuem cristalinidade de 75% com temperaturas de fusão de 170 °C. Sua absorção de água é quase desprezível e são insolúveis nos solventes comuns a temperatura ambiente. Podem ser processados pelos métodos usuais de injeção e extrusão. [WIEBECK e HARADA, 2005].

Wiebeck e Harada (2005) relatam que os polioximetilenos têm maior utilização em situações que necessitam da substituição de materiais metálicos. Sua rigidez, baixo peso, alta estabilidade dimensional, resistência a abrasão, resistência a corrosão e baixo desgaste, fazem dos poliacetais capazes de substituir com segurança materiais metálicos como bronze, ferro fundido e zinco, em diversos casos. A grande área em que ocorrem esses tipos de substituição corresponde a indústria automotiva, em aplicações como mecanismos dos vidros das portas, carcaças de bombas, engrenagens, tubos (especialmente para sistemas de óleo).

9.13.1 POM Homopolímero

Segundo Albuquerque (2001), esses homopolímeros são encontrando em diversos valores de viscosidade, a fim de satisfazer as necessidades de determinados tipos de processamentos e também para atender as finalidades que os produtos são destinados.

Poliacetais com altos módulos de viscosidade são geralmente utilizados para processos de extrusão e aplicações finais em que altos módulos de tenacidade sejam necessários. Já os poliacetais com baixos valores de viscosidade são destinados à fabricação de produtos moldados pelo processo de injeção, e para melhoria dos módulos de tenacidade desses polímeros, adições de cargas de elastômeros podem ser feitas. Os poliacetais homopolimerizados apresentam as mais elevadas resistências à fadiga de todos os termoplásticos comerciais sem enchimento. Tais materiais apresentam grande resistência à tração, compressão e cisalhamento e mantêm estas propriedades mesmo a altas temperaturas. Também têm alta resistência a solventes orgânicos, alta estabilidade dimensional, baixo coeficiente de atrito, boa resistência à abrasão, são rígidos e autolubrificantes. Sob condições de esforços alternados entre tração e compressão, num ambiente com 100% de umidade relativa a uma temperatura de 22 °C, o limite de resistência à fadiga apresentado por este material é de 316 Kgf/cm² a 10.000.000 ciclos.

A resistência do poliacetal homopolimerizado a deformações por alongamento é excelente. A umidade, os lubrificantes e os solventes, como a gasolina e as misturas gasolina-álcool, tem pequena influencia sobre suas propriedades, fatos relevantes em peças que incorporam parafusos autotarrachantes. Em função da baixa higroscopia e da alta resistência a deformações e alta temperatura de deflexão, os poliacetais são apropriados para o emprego em peças caracterizadas por estreitas tolerâncias e elevado desempenho. As aplicações destes homopolímeros na indústria automotiva abrangem o sistema de combustível, os cintos de segurança e seus componentes, barras de direção, maçanetas, cantoneiras e suportes das janelas. [ALBUQUERQUE, 2001].

9.13.2 POM Copolímero

Segundo Wiebeck e Harada (2005), as propriedades dos poliacetais copolímeros a aplicações de curto prazo são da mesma ordem de qualidade das propriedades dos homopolímeros. Porém são as propriedades que os copolimerizados apresentam a longo prazo que justificam o maior interesse por este material em aplicações duradouras. Sua estrutura química possibilita que sejam utilizados em ambientes severos com pH variando entre 4 e 14. Não são degradados quando em contato com solventes comuns, lubrificantes e até mesmo gasolina. Apresentam continuidade de suas propriedades em exposição às intempéries em temperaturas até 105 °C ou com presença de água até 80 °C.

De acordo Albuquerque (2001), o copolímero de poliacetal mantém parte dos seus módulos de tenacidade em largas faixas de temperatura e estão situados entre os termoplásticos cristalinos que apresentam maior resistência a deformações. Apresentam também, elevada dureza, alta resistência à tração, à flexão e à fadiga. As características de baixa absorção de umidade destes copolímeros fazem com que sejam produzidas peças que trabalham com segurança em ambientes com elevada umidade ou que os níveis de umidade variam bastante. Na indústria automotiva, são usados em embuchamentos, puxadores, cliques, maçanetas, manivelas das janelas, entre outros. Para aplicações que exigem maior estabilidade sob ação de cargas e em elevadas temperaturas, como engrenagens reforçadas e componentes do compartimento do motor, são adicionadas fibras de vidro aos copolímeros de poliacetal.

Esses materiais apresentam excelente resistência a agentes químicos e solventes. Por exemplo, amostras imersas durante doze meses, à temperatura ambiente, em variadas soluções de compostos inorgânicos, não foram afetadas, a não ser pelos ácidos minerais fortes, sulfúrico, nítrico e clorídrico. Não são recomendáveis contatos prolongados com fortes agentes oxidantes, tais como soluções aquosas com altas concentrações de íons de hipocloritos. Soluções a 10% de hidróxido de amônia, 3% de água oxigenada e 10% de cloreto de sódio descoloram as amostras nela imersas por tempos prolongados. Entretanto, as propriedades físicas e mecânicas permanecem inalteradas razoavelmente. A maioria dos reagentes orgânicos não tem efeito sobre esses materiais, e os óleos minerais, óleos para motores e fluidos de freios não provocam quaisquer mudanças. É excepcionalmente boa a sua resistência a bases; corpos de prova imersos em solução fervente a 50% de hidróxido de sódio e de outras bases fortes e não sofreram modificações, mesmo após vários meses de tratamento. [ALBUQUERQUE, 2001].

A tabela 20 mostra os dados das propriedades mecânicas dos poliacetais mais utilizados comercialmente.

Tabela 20 – Propriedades dos poliacetais de grande utilização comercial.

PROPRIEDADES	MÉTODO	UNIDADE	POM Homo	POM Copo	POM Homo + 20% FV	POM Copo + 25% FV
Resistência a tração na ruptura	ASTM D638	MPa	70	60	60	120
Alongamento na Ruptura	ASTM D638	%	40	70	12	3
Módulo de flexão	ASTM D790	GPa	2,8	2,6	5	7,7
Resistência ao impacto Izod com entalhe	ASTM D256	J/m	75	65	43	60
Dureza Rockwell	ASTM D785	R	120	115	118	110
Densidade	ASTM D792	g/cm ³	1,42	1,41	1,56	1,59

Fonte: Plásticos de engenharia: Tecnologia e aplicações. (Wiebeck, H; Harada, J.).

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os materiais plásticos são capazes de substituir com eficiência e segurança os materiais metálicos em inúmeros componentes de um automóvel. As vantagens obtidas por meio da redução de peso e absorção de energia por parte dos polímeros são interesses principais das indústrias automotiva. A facilidade e variedade de produção pelo método de injeção plástica, em que os produtos reproduzem fielmente até mesmo o desenho de moldes complexos, de tamanhos pequenos a grandes, processando polímeros rígidos ou flexíveis, com ou sem carga, garante que enormes lotes de peças possam ser produzidos com custos menores e em tempo reduzido. Partes dos veículos que necessitam de um design aprimorado, alta qualidade superficial e fácil reposição são dominadas pelo uso dos materiais poliméricos. Tal sucesso incentiva as constantes pesquisas por novas composições, novas blendas e adições de polímeros em metais para cada vez mais substituir os materiais compostos apenas por metais.

A tabela 21 mostra os materiais tipicamente usados em determinadas aplicações na indústria automotiva e as propriedades que justificam tais usos nos veículos.

Tabela 21 Relação entre materiais utilizados em veículos e suas propriedades de interesse

LIMITE DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	LIMITE DE ESCOAMENTO	RESISTÊNCIA AO IMPACTO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO	DUREZA	DENSIDADE		HDT - Temperatura de distorção térmica
AÇO 4063 786 - 2380 MPa	AÇO 6150 745 - 1860 MPa	PU 1330 J/m Izod com entalhe, 23 °C	PU 138 MPa	PA 6.6 + 30% DE FIBRA DE VIDRO 120 Rockwell	ALUMÍNIO 2,7 g/cm ³	PP 0,903 g/cm ³	ABS 95 °C
Molas	Eixos, pistões e engrenagens	Revestimento interno de para choque	Batentes, bancos, volantes	Engrenagens, alavancas, coletores de entrada de ar	Bloco do motor	Para choque, tampa do porta luvas, tampa do porta fusíveis	Painéis internos e seus componentes

Fonte: Informações retiradas das tabelas utilizadas ao longo do trabalho.

Porém, é preciso um prazo adequado e cuidado para garantir uma substituição de metal por polímero, uma vez que determinadas partes de um automóvel ainda necessitam de propriedades que apenas alguns metais apresentam. Por exemplo, a parte estrutural de um veículo necessita das altas resistências mecânicas dos aços e suas ligas. O motor e seus derivados devem ser fabricados de alumínio, principalmente por estarem constantemente em altas temperaturas. Outros acessórios, como rodas, molas e eixos sofrem esforços repetitivos, ou seja, necessitam de altas resistências à fadiga, propriedade que a maioria dos metais conseguem atender de forma satisfatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FILKAUSKAS, Benedito; GUEDES, Mario. **O plástico: materiais, moldes, processo, projetos e aplicações.** São Paulo: Editora Érica, 1986. 156p.

CANEVAROLO, S. V. **Ciência dos Polímeros.** 2^a Ed. São Paulo: Editora Artliber, 2006. 280p.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações.** São Paulo: Editora Artliber, 2005. 349p.

ASHBY, Michael; JONES, David. **Engenharia de Materiais: Uma introdução a propriedades, aplicações e projetos.** São Paulo: Editora Elsevier - Campus, 2007. 356p.

ASHBY, Michael; JONES, David. **Engenharia de Materiais: Volume 2.** São Paulo: Editora Elsevier - Campus, 2007. 349p.

ALBUQUERQUE, Jorge Artur Cavalcanti. **Planeta Plástico: Tudo que você precisa saber sobre plásticos.** São Paulo: Editora Eco, 2001. 285p.

CALLISTER, William D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução.** Rio de Janeiro: Editora LTC, 2007. 800p

GALDAMEZ, E. C. V; CARPINETTI, L. C. R. **Aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos no processo de injeção plástica,** São Carlos, v. 11, n. 1, 2004.

FERNANDES, B. L.; DOMINGUES, A. J. **Caracterização Mecânica de Polipropileno Reciclado para a Indústria Automotiva,** Polímeros: Ciência e Tecnologia, Paraná, v. 17, n. 2, p. 85-87, 2007.

MEDINA, H. V.; NAVEIRO, R. M. **Materiais Avançados: Novos Produtos e Novos Processos na Indústria Automobilística,** Belo Horizonte, v. 8, n. 1, p. 29-44 Jul 1998.

HEMAIS, C. A. **Polímeros e a Indústria Automobilística,** Polímeros: Ciência e Tecnologia, São Carlos, v. 13, n. 2, p. 107-114, Abr/Jun 2003.

SIMIELLI, E. R. **Principais Características das Blendas Poliméricas Fabricadas no Brasil,** Polímeros: Ciência e Tecnologia, Campinas, p. 45-49, Jan/Mar 1993.

ARAUJO, M. R.; NAVEIRO, R. M. **Desenvolvimento de Novos Materiais e Novos Produtos na Indústria Automobilística,** Escola de Engenharia UFRJ. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP1999_A0164.PDF>. Acesso em: 15 de maio de 2012.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA; L. C. S. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações,** Insitituto de Química, UERJ. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 13, nº 1, p 1-13, 2003.

SILVA, A. L. N.; COUTINHO, F. M. B. **Some Properties of Polymer Blends Based on EPDM/PP.** Polymer Testing, vol. 15, p 45-52, 1996.

SILVA, A.T. **Análise das implicações do uso dos novos aços de alta resistência mecânica na indústria automobilística.** In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 59., 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ABM, 2004. p. 335-42.

OLIVEIRA, M. I.; **Polipropileno e blendas PP/EPDM reforçadas com fibras curtas de sisal.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – Escola de Engenharia Programa de Pós-Graduação em PPGEM (UFRGS), Rio Grande do Sul, 2009.

MORAIS, W.A.; BORGES, H.C.; PEREZ, F.A. **Modelamento e quantificação da relação propriedades x microestrutura nos aços estruturais laminados a quente da Cosipa.** In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 62, 2007, Vitória, ES. Anais... São Paulo: ABM, 2007. p. 3285-96.

FRIEDRICH, H.; SCHUMANN, S. **The second age of magnesium.** In: Conference Paper at Second Israeli International Conference on Mg Science and Technology. Sdom. Israel, February, 2000.

GOUVEIA, Roberta. Diferentes utilizações do aço com baixo teor de carbono. **Mecânica Industrial.** Disponível em <<http://www.mecanicaindustrial.com.br/conteudo/481-diferentes-utilizacoes-do-aco-com-baixo-teor-de-carbono>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

MARCHINA, Paulo. Blocos de alumínio são tendência para carros populares. **Associação Brasileira do Alumínio.** Disponível em < www.abal.org.br/aluauto/ed25/entrevista.htm >. Acesso em: 23 jan. 2013.

FRANCO, Edson. Carro feito de acrílico transparente. **Revista Galileu: Tecnologia e Design.** Disponível em <<http://revistagalileu.globo.com/revista/common/0,,emi110308-17778,00-carro+feito+de+acrilico+transparente.html>>. Acesso em: 28 fev. 2013.