

# **Critério na Seleção de Plásticos de Engenharia para Aplicações em Veículos Populares no Brasil<sup>5</sup>**

**Augusto Marcelino Lopes Dorneles Filho**

DuPont do Brasil

augusto.dornelles@bra.dupont.com

**Prof. Dr. Marcos Mattos Pimenta**

Universidade de São Paulo

Depto. Engenharia Mecânica - Escola Politécnica

Av. Prof. Mello Moares, 2231, Cidade Universitária-SP

marcos.pimenta@poli.usp.br

**Abstract:** The main objective of this paper is to propose some basic economical and objective criteria for the engineering plastics development in applications, components and parts in the low-end cars segment (known in Brazil as popular cars), to replace traditional metallic machined, die-casted or injected parts. In spite of the lack of reliance in plastics components in automotive applications (one of them being the high temperature in the engine area), big industries in the sector always conceive new projects on high performance polymers for applications considered critical because of its general resistance. The named engineering plastics are preferably chosen due to its easy processing, complex design flexibility, with a good dimensional stability and an excellent resistance against corrosion in environments with chemical hostility. In the past, companies clearly selected the called thermo-stable plastics, almost forgotten or obsolete nowadays (mainly due to the high cost and/or slowness on processing). Today they are largely replaced by engineering thermoplastics. Nowadays, the consumption of plastics in Brazilian low-end cars already reached approximately 130 kg of plastics in their interior and/or exterior (like in Ford KA, for example), which helps to reduce total car weight, increasing the saving of fuel, mitigating process costs, besides to an excellent surface appearance. This paper will approach about the possibility of proposing more objective criteria in the initial phase of the engineering plastics selection (notably polyamides, acetals, polyesters, and polycarbonates), increasing the choice efficacy and diminishing costs (avoiding mistakes and saving time), as a practical consulting guide to engineers and professionals from the Brazilian automotive sector.

**Keywords:** Plastics (aplicaations); Low end cars; Plastics selection; Automotive applications; Electronic matrix; Selection criteria

**Resumo:** O Este trabalho tem por objetivo propor alguns critérios básicos, para o desenvolvimento de plásticos de engenharia em aplicações, componentes e partes dos veículos chamados populares, particularmente no Brasil, em substituição a partes tradicionalmente usinadas, fundidas ou injetadas em ligas metálicas. A despeito da desconfiança que cerca alguns dos componentes em plásticos que se destinam às aplicações automotivas, (e uma das principais razões para isso, são as elevadas temperaturas presentes em algumas áreas do automóvel), as grandes indústrias do setor não deixam de conceber novos projetos em polímeros de alta performance, para aplicações tidas como críticas em termos de resistência geral. Os plásticos de engenharia são escolhidos devido à sua fácil processamento, e sua flexibilidade em propiciar desenhos mais complexos, com boa estabilidade dimensional e uma excelente resistência à corrosão em ambientes de hostilidade química. No passado, as empresas optavam pelos plásticos chamados de termofixos, que hoje estão quase esquecidos (principalmente devido a processamentos mais custosos e/ou mais lentos). Hoje sendo substituídos pelos termoplásticos de engenharia. Atualmente, o consumo de plásticos em alguns carros brasileiros já alcança quase 130 kg de plásticos nos seus interiores e/ou exteriores (como o Ford KA, por exemplo), o que ajuda a reduzir o peso total do automóvel, aumentando a economia de combustível, reduzindo os custos de processos, aliada a uma excelente aparência superficial. Este trabalho versará sobre a possibilidade de se propor critérios mais objetivos na fase inicial de um processo de seleção de plásticos de engenharia (notadamente, poliamidas, acetais, poliésteres, e policarbonato), aumentando a eficácia da escolha e diminuindo custos (evitando erros e economizando tempo), como um guia prático de consulta para engenheiros e profissionais do setor automotivo brasileiro.

**Palavras-chave:** Plásticos (Aplicações industriais), Veículos populares

---

<sup>5</sup> Artigo extraído do Trabalho de Conclusão de Curso "Critério na Seleção de Plásticos de Engenharia para Aplicações em Veículos Populares no Brasil" de Augusto Marcelino Lopes Dorneles Filho, apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, para obtenção do Título de Mestre Profissional em Engenharia Automotiva, sob a orientação do Prof. Dr. Marcos Mattos Pimenta

## INTRODUÇÃO

Uma importante questão se coloca na escolha de um plástico de engenharia para uso em componentes de automóveis populares no Brasil: Como se decidir qual o material é o melhor para uma aplicação particular?

Nos dias de hoje, projetistas e engenheiros da área automotiva, prontamente estão dispostos a especificar plásticos de engenharia para os vários componentes cujos desenvolvimentos estão sob sua responsabilidade, porque estes materiais oferecem uma combinação de propriedades não presentes em outras matérias primas, como por exemplo, leveza, resiliência, resistência à corrosão, facilidade de cores, transparência, facilidade de processamento, e, sobretudo possuem a vantagem de proporcionar a redução do custo total dos componentes, devido à flexibilidade de 'design' e diversidade de processos de fabricação. Mas apesar disso, têm o receio de fazê-lo, devido às limitações de conhecimento na área de plásticos, que muitas vezes está concentrada apenas na experiência prática da 'tentativa e erro' de moldadores (empresas transformadoras de plásticos).

No plano acadêmico, quando se procuram informações que possam indicar os critérios de seleção para materiais, seguidas vezes, as menções encontradas dizem respeito a produtos ainda em desenvolvimento, que não tem formato ('design') definido, como por exemplo, o que encontramos no autor Michael F. Ashby, que define a seleção de materiais como parte "que não pode ser separada da escolha do formato" (Ashby, 2000, pág. 9). Aprofundando-se em sua análise, Ashby afirma que a função, o material, o formato e o processo interagem, portanto a função do componente "dita a escolha do material, o formato é escolhido para desempenhar a função utilizando aquele material, e o processo é impactado pelas propriedades do material" (Ashby, 2000, pág.9), que também interage com o formato, no que concerne ao tamanho, à precisão, e ao custo por componente obtido por unidade de tempo. Segundo Sant'Anna e Wiebeck (2006), com o conceito de Mapas de Propriedades de Materiais, Ashby expande os limites de seleção, que aliados aos Índices de Mérito (que relacionam uma propriedade específica ao tempo em horas, por exemplo), facilitariam as análises comparativas entre materiais (Sant'Anna e Wiebeck, 2006, pág. 6).

A proposta deste trabalho é um pouco diferente, já que no segmento de veículos populares, o que se busca são alternativas de materiais plásticos para produtos já existentes. Este fato já é suficiente, para que a discussão se afaste das premissas iniciais, de Ashby (impossibilidade de se estabelecer critérios sem inter-relacionar-se, formato, a função, o material, e processos) e se concentre na seleção dos materiais plásticos – especificamente de engenharia, onde ainda a função é requisito fundamental, e de certa forma, incorporando o conceito de Índices de Mérito, e relacionando-a às propriedades dos plásticos de engenharia. Claro que o processo será importante, já que contribuirá para que as propriedades intrínsecas dos materiais plásticos venham a se manifestar com maior ou menor ênfase (por exemplo – aumento da rigidez mecânica de uma peça produzida em poliacetal, decorrente da utilização de um molde quente no processo de injeção). De maneira análoga, o formato ('design'), terá sua importância relativa considerada, entretanto com um menor peso, já que é existente (caso, por exemplo, de uma peça metálica de um veículo popular, na qual se deseje uma redução de custo). Em suma, para os interesses deste trabalho, os aspectos básicos, que servirão para se estabelecer uma seleção inicial, de um plástico de engenharia para um componente ou peça para um veículo popular, tratarão de relacionar as funções desejadas para o componente durante sua operação, às propriedades dos plásticos. Para melhor caracterizar o conceito de propriedades para plásticos, Felicetti (1996) cita Van Krevelen, que em sua obra, 'Properties of Polymers' inter-relaciona, propriedades intrínsecas, propriedades de processo e propriedades de produto (Felicetti, 1996, pg.02) Assim, uma propriedade intrínseca como resistência à fluência, poderia ser maximizada durante o processo (altas temperaturas no molde), para se obter um componente que desempenhasse a função de suportar cargas elevadas com pouca deformação permanente.

Também, faz-se referência, aos chamados 'plásticos de engenharia', que se refere a uma família de materiais, e que inclui os Nylons, os Acetais, os Poliésteres, etc... Deste modo, assim como se aceita que o alumínio, com propriedades diferentes dos aços, pertença à mesma família dos metais, analogamente, os Nylons apresentam propriedades diferentes dos Poliacetais e dos Poliésteres.

R. J. Crawford (1987), menciona que, da mesma maneira que "poucos projetistas simplificariam demais se especificassem o metal como o material para um componente particular, igualmente o fariam se recomendassem um plástico" (Crawford, 1987, pág. 4).

Analogamente, como há diversos tipos de aço ou alumínio, também ocorre o mesmo para Nylons, Poliacetais ou Policarbonatos, por exemplo.

Daí resulta a dificuldade maior em se selecionar o melhor plástico de engenharia para uma dada aplicação, já que se deverá contar com um pré-conhecimento, no que concerne ao comportamento mecânico-físico dos plásticos, enquanto grupo de materiais, assim como haverá uma demanda para uma certa familiaridade com suas necessidades ambientais, determinando as funções particulares, e desempenho a curto e longo prazos.

Deste modo, faz-se mister designar inicialmente o propósito, o ambiente e, portanto, as funções que o componente exercerá durante sua vida útil. Em seguida, considerar as propriedades de engenharia que mais se enquadram ao seu desempenho funcional geral.

As propriedades principais presentes nas especificações da indústria automobilística são abordadas, a seguir :

- a- Resistência mecânica: Resistência à tração, Módulo de Flexão, Resistência à Fluência (parâmetros associados à Rigidez Mecânica) e Resistência ao Impacto (associada à tenacidade); Resistência à Abrasão, Coeficiente de Atrito, Dureza Superficial (associados ao desgaste).
- b- Densidade (associada à economia de peso no veículo);
- c- Temperatura de deflexão ao calor (associada ao comportamento mecânico sob altas e baixas temperaturas);
- d- Temperatura de Transição vítrea e Coeficiente de Expansão Térmica (característica intrínseca dos plásticos, vinculada à conservação de propriedades sob calor);
- e- Resistência Química Geral (susceptibilidade à corrosão);
- f- Propriedades Dielétricas e UL 94 (associada ao isolamento elétrico);
- g- Propriedades Ópticas (associadas ao grau de transparência);
- h- Facilidade ou não de Processabilidade (associada aos processos convencionais e liberdade de 'design' - desenho);
- i- Custo do Produto Final (Preços + Custos Agregados-Facilidade ou não para Operações Secundárias como, pintura decorativa, ultra-som, etc...).

Após estas considerações, o trabalho se concentra na metodologia utilizada para construir o cenário de critérios para a seleção de plásticos de engenharia em componentes automotivos (veículos populares).

Baseando-se na nomenclatura de funções, trazidas da Engenharia de Valor, o engenheiro ou profissional da indústria automotiva, deverá traduzir o conhecimento relativo ao ambiente de trabalho do componente, em funções. E a melhor maneira, de se definir uma função, é por meio da técnica do Verbo + Substantivo (Massarani, 2005, pág. 17). Assim, o ideal é utilizar-se o verbo no infinitivo pessoal e um substantivo para completar a idéia, entretanto isto não deve se tornar um elemento complicador, assim pequenos desvios podem ser aceitos. Assim, expressões como Prover Rigidez, Suportar Cargas, Minimizar Ruídos, Suportar Montagem, e etc... serão várias vezes encontradas nas simulações de seleção realizadas neste trabalho.

Definidas as funções, relacionou-se em tabelas as principais propriedades encontradas por área de utilização no automóvel (de maneira simplificada, optou-se por áreas exteriores, habitáculo do motor, habitáculo interior e componentes eletro-automotivos).

Assim, para uma aplicação do habitáculo do motor (exemplo: Módulo Frontal para Sistemas), e que o engenheiro ou projetista, elege como funções principais, Suportar Cargas (ao Calor), Suportar Vibrações, Prover Rigidez, Prover Dimensional (estabilidade), Resistir a Óleos, e Reduzir Custos relacionam-se as seguintes propriedades respectivamente, Alta temperatura de Deflexão ao Calor, Alta Resistência ao Impacto Izod, Alto Módulo de Flexão, Baixa Contração na Moldagem / Coeficiente de Expansão Térmica, Alta Resistência Química, e Menor Custo Relativo.

Para completar o processo, aplicando um sistema de pesos e notas para funções e propriedades dos plásticos submetidos ao processo de seleção, demonstra-se como se elegeu um Nylon reforçado com fibras de vidro para tal componente.

Os critérios então para a seleção de plásticos de engenharia para componentes em veículos populares, são determinados pelo conhecimento das funções entendidas com mais importantes para a operação de certo componente em dado ambiente, e sua relação com as propriedades (imediatas e de uso contínuo), norteadas por um sistema de pesos e notas.

Com este trabalho, pretende-se abrir o leque de oportunidades para se avançar na seleção de plásticos de engenharia, diminuindo o tempo para a escolha (minimizando o tempo de desenvolvimento de produtos) e reduzindo custos, já que muitas vezes, as empresas depois do longo processo advindo das 'tentativas e erros', acabam por optar por ferramentas caras de design, cálculos estruturais (CAD/CAE) e análises de elementos finitos (NASTRAM, ABBACUS), e nem sempre bem sucedidos. Claro que estas ferramentas, tornam-se cada dia mais importantes, entretanto é preciso dirigi-las para um estágio posterior à seleção básica de um plástico de engenharia, alocando tais recursos mais dispendiosos, em aplicações de maior complexidade e responsabilidade técnica.

## **1 PROPRIEDADES IMEDIATAS E PROPRIEDADES DE USO CONTÍNUO**

A classificação de propriedades mecânicas ou físicas de um plástico de engenharia em 'propriedades imediatas' e 'propriedades de uso contínuo' (isto é, dependentes do tempo de exposição sob determinada condição), são um pouco arbitrárias, já que qualquer propriedade imediata pode ser avaliada ao longo prazo, e tomar a forma de 'propriedade de

uso contínuo'. Vale mencionar que todos os ensaios de propriedades específicas tomam um certo tempo para sua realização, que nunca é informado nas especificações dos fabricantes de plásticos. Mesmo assim, a distinção entre 'propriedades imediatas' e 'propriedades de uso contínuo', se faz adequada para os interesses deste trabalho.

Então, a definição das primeiras caberia a todos os ensaios, procedidos dentro de períodos de tempo relativamente 'instantâneos', ou melhor, 'de curta duração', onde o tempo não é considerado como fator prioritário.

Historicamente, entretanto, estes termos na área de plásticos, derivam do idioma inglês 'short-term properties' e 'long-term properties' (aqui chamados respectivamente, 'propriedades imediatas' e 'propriedades de uso contínuo'), e já estavam em voga nos Estados Unidos na década de 70 do século passado, pelos fabricantes de plásticos de engenharia, notadamente na literatura da Celanese e da Dupont, sendo encontrado também, na literatura acadêmica já nos anos oitenta, na primeira edição do livro 'Plastics Engineering' de R.J. Crawford em 1981.

Como mencionado anteriormente, os ensaios aqui chamados 'de uso contínuo', possuem no fator tempo sua componente prioritária, pois o que se busca são os desempenhos, mecânico, térmico, elétrico ou físico, contra o tempo de exposição.

Estes ensaios de laboratório são normalmente estendidos por horas, dias, semanas, meses ou até anos. Conseqüentemente, a maioria dos ensaios realizados no padrão de consumo industrial médio (até para regiões menos críticas de automóveis), é destinada maciçamente à mensuração das 'propriedades imediatas' (isto inclui a maior parte dos ensaios prescritos pela ISO, ASTM, DIN, etc...).

Todavia, as propriedades de 'uso contínuo' estão sempre muito presentes, por exemplo, quando o componente plástico é empregado numa aplicação automotiva, estando submetido a um esforço mecânico estático ou dinâmico, com trocas de temperatura, e exposto por determinado período de tempo, simulando, de maneira acelerada ou não, a sua utilização final, têm-se aqui, a caracterização de uma propriedade de uso contínuo.

Este é o caso de uma calota para uso em um veículo popular (engastada por três ou quatro parafusos, que a fixam na roda, e sujeita à variação de temperatura durante um certo tempo de rodagem). Portanto, um projetista ou engenheiro de produto, responsável por este componente, deverá ter conhecimento das funções e da performance com que ele atuará após longos períodos de tempo em serviço.

Por estas razões, sempre que o êxito em potencial da aplicação depender de uma função específica, relacionada à determinada propriedade ou à combinação de várias delas, dever-se-á considerar não apenas as 'propriedades imediatas', mas também as 'propriedades de uso contínuo', através de uma análise cuidadosa, para se determinar quais entre elas, são as mais importantes para o caso em estudo.

Este trabalho visa estabelecer um critério de pesos e de pontuação para as funções desejadas dos componentes durante sua operação, relacionadas às propriedades (que a sua vez, também estarão ponderadas com pesos e pontuação específica) mais importantes para cada área do automóvel. As necessidades ambientais para o produto final fabricado em plástico de engenharia, determinarão as funções dos componentes. Já as propriedades dos materiais, serão definidas na esfera das propriedades 'imediatas' e 'de uso contínuo', obtidas junto aos fabricantes de plásticos de engenharia. A pontuação para funções operacionais em relação aos plásticos de engenharia, será dada pela experiência e desempenho dos mesmos ao longo de 20 anos nas aplicações automotivas no Brasil e do mundo (amplamente divulgado pelos fabricantes de plásticos). A pontuação das propriedades em relação aos plásticos de engenharia poder ser dada diretamente pelo comparativo de valores peculiares de suas propriedades (fornecidas também pelos fabricantes de plásticos). Tendo-se concluído estas atividades, os critérios aqui definidos poderão ajudar os projetistas e engenheiros do setor automotivo, a estabelecer uma primeira escolha de qual ou quais plásticos de engenharia especificar. Isto é particularmente aplicável aos automóveis considerados populares, sempre passíveis a alterações para redução de custos, determinada nas engenharias de produto no Brasil. Em especial, quando se trata da substituição de componentes metálicos, por alternativos em plásticos de engenharia de veículos com pelo menos um ano de lançado.

## **2 METODOLOGIA PROPOSTA PARA SELEÇÃO DE PLÁSTICOS DE ENGENHARIA**

### **2.1 Escolha das Propriedades Imediatas e de Uso Contínuo**

Pelo que foi abordado, já se possui elementos suficientes para se estabelecer considerações iniciais mínimas, quando da seleção de um plástico de engenharia para componentes da área automobilística. Faz-se tempo agora, de entender as funções necessárias e propriedades (imediatas e de uso contínuo) que serão levadas em conta e como elas caracterizam o processo de seleção de plásticos.

Como ponto de partida, as funções operacionais (definidas pelo ambiente), serão correlacionadas às propriedades intrínsecas dos plásticos - 'propriedades imediatas' e de 'uso contínuo', e nortearão o processo inicial de seleção de dado plástico de engenharia.

Assim, nos exemplos que o trabalho abordará, algumas 'propriedades imediatas' consideradas mais importantes, poderão ser utilizadas para montagem de uma tabela ferramental comparativa para a organização do processo (propriedades e funções), como a seguir:

- A Densidade (leveza)
- A Resistência à tração (resistência ao estiramento)
- O Módulo de flexão (rigidez)
- A Resistência ao impacto (flexibilidade e tenacidade)
- A Constante Dielétrica e Resistividade Volumétrica (isolação elétrica)
- O Preço relativo (US\$/cm<sup>3</sup>)

O mesmo procedimento é aplicado às propriedades físico-termo-mecânicas de longo prazo, ou ‘propriedades de uso contínuo’, e assim definirão a escolha final em conjunto com outras considerações complementares (processamento, formato, massa de produção e etc.) As principais propriedades de ‘uso-contínuo’ que poderão integrar uma lista instrumental básica, para ajudar no processo de seleção, é a seguir mostrada:

- A Resistência química (óleos, combustíveis e solventes).
- A Absorção de umidade (flexibilidade e estabilidade dimensional)
- A Fluência ou ‘Creep’ (rigidez sob carga em função tempo)
- A Temperatura de deflexão ao calor (suportar cargas ao calor)
- A Temperatura de transição vítrea (propriedades mecânicas sob calor)
- A Temperatura de uso (manutenção de propriedades)
- A Resistência à abrasão (desgaste por atrito)
- A Resistência a intempéries (aparência superficial e prevenção de fissuras)

Ainda assim, um filtro adicional será utilizado, para simplificar a explicação do processo de seleção.

Neste trabalho, tomar-se-ão como propriedades imediatas, principalmente: o módulo de flexão (para caracterização da rigidez do plástico de engenharia, definindo-se, portanto que quanto mais alto o seu valor, mais alta a rigidez mecânica), a resistência ao impacto (denotando o trabalho necessário para romper um corpo de prova durante um esforço de rasgamento ao impacto, e quanto maior o seu valor maior sua resistência ao impacto e tenacidade), as características dielétricas, além, é claro, do preço relativo do plástico de engenharia (US\$/cm<sup>3</sup>). No que concerne às ‘propriedades de uso contínuo’, tomar-se-ão algumas, outras não (dependendo do componente), mesmo assim vale comentar as seguintes: resistência química (a hidrocarbonetos e solventes, que não requer maiores elucidações, já que o plástico de engenharia ou é fortemente, medianamente, ou quase inerte ao contato com estas substâncias, ocasionando perdas de peso e medidas); temperatura de deflexão ao calor (que denota a medida de rigidez submetida à temperatura na qual há uma deflexão de 2% a 5%, e em termos práticos representaria a temperatura na qual o plástico começa a se deformar, comprometendo sua forma original, e quanto maior esta resistência melhor o comportamento do plástico de engenharia sob calor e carga); temperatura de uso (que expressa a temperatura do ar na qual um material retém 50% das suas propriedades após 10.000 horas de exposição contínua); temperatura de transição vítrea (TG) – importante nas aplicações automotivas submetidas ao calor, e finalmente; fluência (que pode ser tomada como a porcentagem de deformação sob carga, em temperatura ambiente, sob longos períodos de tempo, e assim quanto maior o seu valor, maior será a resistência do plástico de engenharia à deformação).

## 2.2 Escolha dos Plásticos de Engenharia para a Seleção

A proposta deste trabalho é definir um método viável, relativamente simples, e que os engenheiros de desenvolvimento e/ou projetistas das empresas automotivas (OEM) e de autopeças possam aplicar, nos seus esforços rotineiros de redução de custos de componentes de veículos populares, para selecionar o candidato ou os candidatos de plásticos de engenharia (entre as centenas disponíveis atualmente), mais adequados ao desempenho esperado por um dado componente. Assim, a preocupação recai sobre o processo inicial de seleção desses plásticos. Não se trata, portanto, apenas de se modificar um método pouco consistente, mas antes, diminuir os custos dos processos iniciais de seleção, quer por redução de erros, quer por economia de tempo ou ainda tornando mais objetivo o processo de escolha de um bom candidato a cumprir as especificações de maneira eficaz (atendendo às necessidades funcionais, técnicas e de viabilidade econômica).

Para este trabalho, no que concerne à escolha dos plásticos candidatos ao processo de seleção, a proposta foi considerar aqueles que mais comumente estão presentes nas especificações e desenhos da indústria automobilística, e destinados ao processo por injeção.

Definindo-se este caminho, é importante perceber que tais plásticos, também são os mais comuns nas especificações corriqueiras dos sistematistas e sub-sistematistas.

Pode-se assim, utilizar como ponto de alinhamento básico, uma discussão mais prática sobre os principais ‘plásticos de engenharia’, que serão aqui estudados. E talvez a maneira mais simples de categorizá-los, seria considerá-los como um grupo formado por diferentes famílias, os Nylons 66 e 6, por exemplo, que por sua similaridade de propriedades podem ser simplesmente designados por Nylons (tomados em suas versões sem reforço, reforçados com fibras de

vidro e carregados de mineral); os Poliacetais (englobando suas versões homopolímero e copolímero); os poliésteres termoplásticos (PBT e PET) em suas versões carregada com fibras de vidro e mineral, e elastoméricas e o Policarbonato (PC).

Ainda, apenas para menção, há pouca requisição (no âmbito dos veículos populares) para as chamadas ‘especialidades de engenharia’ ou ‘plásticos de engenharia de alta performance’, como o poli-sulfeto de fenileno reforçado – PPS, a Poli-ftalamida reforçada (PPA), a Poli-imida (PI), o Polí-eter-imida (PEI), o Poli-éter cetona (PEK), e etc. Desta forma, este grupo não será tratado neste trabalho.

Entretanto como contraponto aos plásticos de engenharia, faz-se importante considerar dois plásticos ‘comuns’, e que permeiam as especificações para componentes menos estruturais na indústria automobilística, e estão muitas vezes, entre as dúvidas mais persistentes na decisão do plástico a ser escolhido devido ao seu relativo baixo preço.

Desta maneira, este trabalho também contemplará um Polipropileno carregado com 40% de carga mineral, e um ABS de média viscosidade. Não obstante, os materiais aqui exemplificados, os mesmos não devem ser tomados como membros de uma lista definitiva, e cabe ao engenheiro ou projetista a inclusão de outros materiais, que por ventura acreditem sejam convenientes a processo de seleção específico.

## 2.3 Relação entre Funções do Produto e Propriedades dos Plásticos de Engenharia

### 2.3.1 Áreas Exteriores

A utilização de plásticos para uso em áreas exteriores é cada vez mais importante, principalmente devido à necessidade de estilos modernos e arredondados, em parte para reduzir o peso do automóvel visando diminuir o consumo de combustível. Nas aplicações exteriores, os plásticos de engenharia não são expostos a solicitações mecânicas apenas, mas também aos raios Ultra- Violetas e ainda aos detergentes (para limpeza). Também, são mandatórios os aspectos estéticos como o acabamento de superfície.

Assim, neste trabalho, definem-se as principais funções que componentes exteriores devem exercer durante sua operação, e que se relacionam com as principais propriedades (imediatas e de uso contínuo) dos plásticos de engenharia dos quais serão fabricados. (ver Tabela 1).

Tabela 1 – Funções e propriedades para componentes em áreas exteriores do automóvel.

<b>Principais Funções do Produto (Componentes Exteriores)</b>	<b>Propriedades Relacionadas às Funções do Produto</b>
1-Prover Estabilidade Dimensional	Baixas: Absorção de Um. e Contração
2-Resistir ao Estiramento	Altas: Resistência à Tr. e Resistência à Fluência por Tração
3-Suportar Vibrações / Choques Mecânicos	Altos Impactos Izod e Charpy
4-Prover Rigidez, Suportar Montagem	Alto Módulo de Flexão
5-Suportar Cargas	Altas: Resist. à Flexão, Alongamento na Ruptura; Resistência à Fadiga e Fluência (cargas cíclicas);
6-Resistir aos Riscos, Prover Superfície s/ rugosidade	Alta Dureza Superficial (Rockwell)
7-Resistir aos Detergentes / Solventes	Alta Resistência Química
8-Facilitar Pintura e Decoração (Gravação, Colagem e etc...)	Baixa Resistência Química
9-Facilitar Soldagem, Metalização, Cromação	Alto Ponto de Fusão,

10-Prover Ótimo Aspecto Superficial, e Prover Beleza	Alta Resist. a Intempéries / Oxidação
11-Prover Leveza (Economia de Combustível e Menor Desgaste do Conjunto Suspensão), Reduzir Custos	Menor Densidade, Menor Custo Relativo

### 2.3.2 Áreas Do Habitáculo do Motor

A presença de altas temperaturas é a característica principal para aplicações no habitáculo do motor, assim já há compartimentos de motor, onde as temperaturas já ultrapassam os 160°C (no futuro alcançarão temperatura acima de 190°C). Apenas esta condição por si, já é suficiente para limitar a quantidade de plásticos que podem ser utilizados nesta área. Isto porque, as solicitações mecânicas e térmicas são grandes e os componentes estão em contato com óleos, combustíveis e fluidos de freio e refrigerantes do motor.

Assim, a seguir, lista-se as principais funções que componentes exteriores devem exercer durante sua operação, e que se relacionam com as principais propriedades (imediatas e de uso contínuo) dos plásticos de engenharia dos quais serão fabricados.

Tabela 2 – Funções e Propriedades para componentes do habitáculo do motor do automóvel.

Principais Funções do Produto- Habitáculo do Motor	Propriedades Relacionadas às Funções do Produto
1- Prover Estabilidade Dimensional	Baixos: Absorção de Umidade, Contração na Moldagem, e Coeficiente de Expansão Térmica (altas temperaturas)
2- Resistir ao Estiramento	Altas: Resistência à Tração, Resistência à Fluência por Tração
3- Suportar Vibrações / Choques Mecânicos, Reduzir Ruídos	Altos Impactos Izod e Charpy, Alongamento na Ruptura
4- Prover Rigidez, Suportar Montagem	Alto Módulo de Flexão
5- Suportar Cargas	Altas: Resistência à Flexão, Alongamento na Ruptura; Resistência à Fadiga e Fluência (cargas cíclicas); Temperatura de Deflexão ao Calor (cargas à temperatura elevada)
6- Prover Flexibilidade	Alto Alongamento na Ruptura (%)
7- Proporcionar Manutenção de Propriedades	Altos Índices de Temperatura UL
8- Suportar Desgaste	Alta Resistência à abrasão
9- Resistir ao atrito	Baixo Coeficiente de Fricção
10- Resistir aos Combustíveis	Alta Resistência Química
11- Prover Leveza (Economia de Combustível e Menor Desgaste do Conjunto Suspensão), Reduzir Custos	Menor Densidade, Menor Custo Relativo

### 2.3.3 Áreas do Habitáculo Interior

A seguir, estão listadas as principais funções de componentes e propriedades dos plásticos de engenharia, necessárias para esta região de um automóvel.

Tabela 3 – Funções e propriedades para componentes em áreas interiores do automóvel

<b>Principais Funções do Produto (Habitáculo Interior)</b>	<b>Propriedades Relacionadas às Funções do Produto</b>
1-Prover Estabilidade Dimensional	Baixas: Absorção de Umidade e Contração
2-Suportar Vibrações / Choques Mecânicos, Reduzir Ruídos	Altos Impactos Izod e Charpy, Alongamento na Ruptura
3-Prover Rigidez, Suportar Montagem	Alto Módulo de Flexão
4-Suportar Cargas	Altas: Resistência à Flexão, Alongamento na Ruptura; Resistência à Fadiga e Fluência (cargas cíclicas);
5-Prover Flexibilidade e Minimizar Ruído	Alto Alongamento na Ruptura (%)
6-Resistir aos Riscos	Alta Dureza Superficial (Rockwell)
7-Resistência aos Solventes	Alta Resistência Química
8-Facilitar Pintura e Decoração (Gravação, Colagem, e etc.)	Baixa Resistência Química
9-Facilitar Metalização, Cromação e Soldagem	Alto Ponto de Fusão
10-Prover Ótimo Aspecto Superficial, Prover Beleza	Altas: Resistência a Intempéries / Oxidação
11-Prover Leveza (Economia de Combustível e Menor Desgaste do Conjunto Suspensão), Reduzir Custos	Menor Densidade, Menor Custo Relativo

### 2.3.4 Áreas de Componentes Eletro-Automotivos

A seguir estão listadas as principais funções de componentes e propriedades dos plásticos de engenharia, necessárias em geral para estas aplicações.



Tabela 4 – Funções e propriedades para componentes eletro-automotivos

<b>Principais Funções do Produto - Eletro-Automotivas</b>	<b>Propriedades Relacionadas às Funções do Produto</b>
1- Prover Isolamento Elétrico	Altas Propriedades Dielétricas e UL CTI
2- Prover Estabilidade Dimensional	Baixos: Absorção de Umidade e Contração na Moldagem, e Coeficiente de Expansão Térmica (altas temperaturas)
3- Resistir ao Estiramento	Alta Resistência à Tração
4- Suportar Vibrações / Choques Mecânicos, Reduzir Ruídos	Altos Impactos Izod e Charpy, Alongamento na Ruptura
5- Prover Rigidez, Suportar Montagem	Alto Módulo de Flexão
6- Suportar Cargas	Altas: Resistência à Flexão, Alongamento na Ruptura; Resistência à Fadiga e Fluência (cargas cíclicas); Temperatura de Deflexão ao Calor (cargas à temperatura elevada)
7- Prover Flexibilidade	Alto Alongamento na Ruptura (%)
8- Proporcionar Manutenção de Propriedades	Altos Índices de Temperatura UL
9- Resistir a Combustíveis	Alta Resistência Química
10- Prover Leveza (Economia de Combustível e Menor Desgaste do Conjunto Suspensão), Reduzir Custos	Menor Densidade, Menor Custo Relativo

#### 2.4 Pontuação para os Plásticos de Engenharia Escolhidos

Embora existam centenas de plásticos, neste trabalho serão considerados 9 materiais dos mais comuns nas especificações da indústria automotiva. Assim, tomar-se-ão: ABS, Polipropileno (PP) carregado com talco (aqui tomado não por ser considerado plástico de engenharia, e sim por propiciar um contraponto, já que é tido como material plástico inicial, devido ao seu baixo preço relativo, em qualquer processo de seleção na indústria automobilística), Nylon sem carga (Poliamida 6 e 66), Nylon carregado (30% de carga mineral), Nylon reforçado (30% de fibras de vidro), Poliacetal (POM, homopolímero e copolímero), Poliésteres termoplásticos (PBT/PET) reforçados (30% de fibras de vidro) e elastoméricos, e Policarbonato.

Este grupo de plástico terão suas propriedades com performances avaliadas e pontuadas de 5 a 1 – forte e fraco desempenho, respectivamente, e proporcionará alguns exemplos de uma seleção de plásticos, que serão tratados neste trabalho (ver Tabela 7 e 10 – págs. 9 e 10 respectivamente).

#### 2.5 Método de Pontuação e Pesos das Funções e Propriedades Escolhidas

No processo de seleção, é importante seguir uma lógica na escolha dos critérios. Portanto, é preciso conhecer as premissas básicas que a peça ou componente automobilístico deve atender ou cumprir em termos de especificações. Assim, as funções operacionais, determinadas pelas necessidades do ambiente, deverão ser pensadas em primeiro lugar, para em seguida relacioná-las às propriedades imediatas ou de uso contínuo. As Tabelas 1 a 4 exemplificam o processo.

Com este entendimento e conforme mostrado nesta tabela para uma função de Prover Rigidez, a propriedade imediata remetida é o módulo de flexão, (a medida de flexão, como parte do esforço de compressão e parte do esforço de tração de um corpo de prova, denotando a idéia de rigidez e resistência mecânica geral), deverá ser computada.

E então, quanto mais alto o valor registrado para o módulo de flexão, maior a rigidez do plástico.

Por sua vez, uma função relativa a prover flexibilidade terá como propriedade imediata correlata, o alongamento na ruptura, que é uma medida da tenacidade. Na prática de laboratório, em geral, plásticos de engenharia possuem bons resultados neste teste, ou seja, quanto maior o seu valor, maior também será sua resistência no ensaio de impacto, conforme o método Izod (ASTM D-256).

Já a função de Prover Estiramento (Alto) ou Prover Encaixes Sob Pressão, referem-se à propriedade imediata de resistência à tração.

Embora sejam várias as propriedades que se inferem neste ensaio, a resistência à tração é medida pela tensão máxima de tração, obtida até o ponto de ruptura de um corpo de prova, ou seja, a sua quebra.

Para uma função de suportar cargas ao calor, a propriedade de 'uso contínuo' referente, é a temperatura de deflexão ao calor (essencialmente uma medida de rigidez mecânica, sob elevadas temperaturas, ou seja, a temperatura na qual o plástico começa a se deformar, perdendo sua configuração mecânica original).

No que concerne, por exemplo, à função de Prover Estabilidade Dimensional, além de se referir à baixa absorção de umidade, como propriedade correlata de caráter imediato, é fundamental relacioná-la à Resistência Fluência ou 'Creep' (deformação ao escoamento de um determinado material plástico sob 100°C e 41 MPa - ASTM D- 2990), isto porque, um plástico de engenharia que apresente menor valor nesta propriedade, produz componentes com pior compromisso dimensional.

A resistência à fluência ainda, pode ser registrada como a porcentagem de deformação ou como medição aparente da rigidez, quando o componente é submetido a uma carga específica, e então, quanto maior o valor obtido, maior será resistência do material à deformação a frio (fluência).

Uma outra função, que parece simples, mas na verdade é muito importante, é a de Suportar Montagem, onde além de se considerar uma propriedade imediata, como a de Módulo de Flexão, é imprescindível observar o Coeficiente de Dilatação Térmica Linear, já que até aqueles plásticos com valores próximos aos dos metais, podem apresentar problemas em montagens de componentes plásticos engastados por parafusos metálicos, isto porque, o calor gerado no habitáculo do motor, por exemplo, é mais rapidamente dissipado pelo metal do que pelo plástico de engenharia (Sant'Anna e Wiebeck, 2006, pg. 09), e como consequência ocorre perdas nos torques das montagens.

O critério assumido para avaliação da performance de propriedades dos diferentes plásticos de engenharia tratados nesse trabalho, passa por uma pontuação, que estabelece as maiores notas (5 = forte performance) para aqueles plásticos que exibem os maiores valores peculiares de resistência. Os que apresentam valores de propriedades intermediários são classificados entre bom (4), médio ou regular (3) e modesto (2). Aqueles que apresentam valores peculiares menores são classificados como de ruim ou fraca performance (1).

Obviamente, o critério é válido para fins comparativos, nunca para desqualificar as propriedades intrínsecas dos plásticos de engenharia, já que todos têm aplicações clássicas de uso e, portanto dotados de valor comercial. Também na esfera das propriedades de uso contínuo, as resistências aos solventes e substâncias químicas não requerem maiores explicações. No entanto, para fins deste trabalho, considerou-se um quadro geral de resistência química. Nela procurou-se classificar a resistência a substâncias de cada um dos plásticos de engenharia, considerando-os afetados (classificação: 1 ponto), ligeiramente afetados (classificação: 2 pontos), e não afetados (classificação: 3 pontos). A partir da soma total de pontos, estabeleceu-se uma nova classificação quanto à performance química geral (5: forte performance a 1: fraca performance), portanto para aqueles plásticos que obtiveram mais pontos, concedeu-se o valor 5 ou 4; àqueles que obtiveram pontos intermediários, concedeu-se valores de 3 ou 2; finalmente, aos que somaram menos pontos, concedeu-se o valor 1.

O critério assumido para pontuação do desempenho das funções operacionais, está intimamente ligado aos ambientes de operação que o componente em análise atuará, assim a pontuação para cada plástico de engenharia em relação a essas funções, neste trabalho, estabelece as maiores notas (5 = forte performance) para aqueles plásticos que exibem os melhores comportamentos sob um dado ambiente. Os que apresentam desempenhos intermediários são classificados entre bom (4), médio ou regular (3) e modesto (2). Aqueles que apresentam pior desempenho operacional recebem a menor nota (1) , e são classificados como de ruim ou fraca performance. (ver Tabela 6 e 9 – págs. 9 e 10 respectivamente).

É importante salientar que o melhor ou pior desempenho de um plástico de engenharia a um determinado ambiente, portanto a uma determinada função operacional, para efeito de pontuação neste estudo, foi baseado no histórico de aplicações automotivas que estes materiais foram experimentados e utilizados ao longo dos últimos vinte anos, e que normalmente é recomendado nos catálogos dos fornecedores de plásticos de engenharia e pela experiência de seus profissionais.

Aplicado o sistema de notas, procedeu-se uma ponderação de pesos relativos, tanto para as funções, quanto para as propriedades imediatas e de uso para o componente sob análise e levando em conta a região do veículo em que opera, conforme exemplificado na tabela seguinte.

Tabela 5 – Qualificação das necessidades do componente:

Base tampa de combustível	
1.Ambiente	Região semi- externa, em ambiente de combustível, e fixada por parafusos ao redor da tampa de combustível.
2.Principais funções	Prover Flexibilidade (30%); Resistir aos Combustíveis (30%); Suportar Vibrações e Choques Mecânicos (10%); Suportar Montagem (10%); Prover Leveza (10%); Baixar Custo (10%).
3.Principais propriedades	Alto Alongamento na Ruptura (30%); Alta Resistência Química (30%); Alta Resistência ao Impacto (10%); Alto Módulo de Flexão (10%); Baixa Densidade (10%); Baixo Custo Relativo (10%).
4.Considerações estruturais, de desenho e processamento	<b>Considerações Estruturais:</b> Componente semiflexível, e de forma irregular e assimétrica. <b>Considerações de Desenho:</b> espessuras heterogêneas, presença de furos para passagem de parafusos e re-entrâncias diversas. <b>Considerações de Processamento:</b> a base da portinhola será injetada e posteriormente receberá uma sobre-injeção de uma camada de Polipropileno Elastomérico (PP + EPDM).
5.Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	<b>Aparência:</b> componente semi-externo (entretanto sem necessidade de polimento), sem pintura e ou decoração (impressão, colagem, etc). <b>Aspecto Superficial:</b> componente dever ter superfície lisa. <b>Transparência:</b> Ausência de transparência, e cor preta.
6.Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	<b>Econômicos:</b> Reduzir custo por quilo. <b>Ecológicos:</b> Produtos devem ser reciclados. <b>Redução de Peso (prover leveza):</b> Muito desejável.

É importante que se frise, que a maioria destas informações adicionais, já estão disponíveis ao engenheiro de produto ou projetista nesta fase do processo, desta forma, que podem facilmente, organizá-las e processá-las de modo a perceber a relevância que possuem na seleção do plástico de engenharia mais adequado para o componente em questão.

Em resumo, disponibilizando de todo este apanhado de dados, será possível montar uma Matriz Eletrônica, capaz de relacionar as funções mais relevantes por tipo de plástico de engenharia, e, e também de propriedades correlatas. A ponderação por pesos então será aplicada pelo profissional automotivo, que conhecendo o ambiente de operação do componente em estudo e região do veículo em que operará, deverá distribuí-los tanto para as funções escolhidas, quanto para as propriedades correlatas (informações inclusas neste trabalho).

Com tal esforço, pode-se desenhar um cenário de performances comparativas entre notas e pesos atribuídos, e com estes dados implementar um modelo prático, econômico e mais objetivo, na escolha dos plásticos de engenharia para componentes de veículos populares.

### 3 SIMULAÇÕES

A seguir é dado um exemplo de um componente existente da área externa e um exemplo de componente conceito, utilizando-se a Matriz eletrônica.

#### 3.1 Simulações de Aplicações na Área Externa

##### 3.1.1 Base do Espelho Lateral



Tabela 6 – Matriz de Eletrônica de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Base do Espelho Lateral						
X: Performance - Funções	Fator	Principais			% de Importância	
		Funções				
	1	Pr. Rigidez/Sup. Montagem			30%	
	2	Prover Beleza			25%	
	3	Sup. Vibr./Ch. Mecânicos			20%	
	4	Resistir a Riscos			15%	
	5	Reduzir Custos			10%	

Valores: 1= Fraco 5= Forte						
Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5
Nylon sem Reforço	3.2	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0
Nylon Reforçado	3.6	4.0	3.0	4.0	4.0	2.0
Nylon Carregado	2.7	3.0	2.0	3.0	3.0	2.0
Poliacetel	3.6	4.0	4.0	3.0	4.0	2.0
Poliéster Híbrido	3.5	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0
Polícarbonato	3.6	3.0	5.0	4.0	3.0	2.0
ABS Média Viscosidade	2.5	2.0	3.0	2.0	2.0	4.0
Polipropileno Carregado	2.7	3.0	2.0	3.0	2.0	4.0
Poliéster Elastomérico	2.6	2.0	3.0	5.0	1.0	1.0

Tabela 7 – Matriz Eletrônica de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Base do Espelho Lateral						
Y: Performance - Propriedades	Fator	Principais			% de Importância	
		Propriedades				
	1	Alto Módulo de Flexão			30%	
	2	Alta Res. a Intemp./X-test			25%	
	3	Alto Impacto Izod			20%	
	4	Alta Dureza Superficial			15%	
	5	Menor Custo Relativo			10%	

Valores: 1= Fraco 5= Forte						
Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5
Nylon sem Reforço	3.2	3.0	3.0	4.0	3.0	3.0
Nylon Reforçado	3.6	4.0	3.0	4.0	4.0	2.0
Nylon Carregado	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Poliacetel	3.4	4.0	3.0	3.0	4.0	2.0
Poliéster Híbrido	3.5	4.0	4.0	3.0	3.0	2.0
Polícarbonato	3.3	3.0	3.0	5.0	3.0	2.0
ABS Média Viscosidade	2.6	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0
Polipropileno Carregado	2.5	2.0	2.0	3.0	2.0	5.0
Poliéster Elastomérico	2.6	1.0	4.0	5.0	1.0	1.0

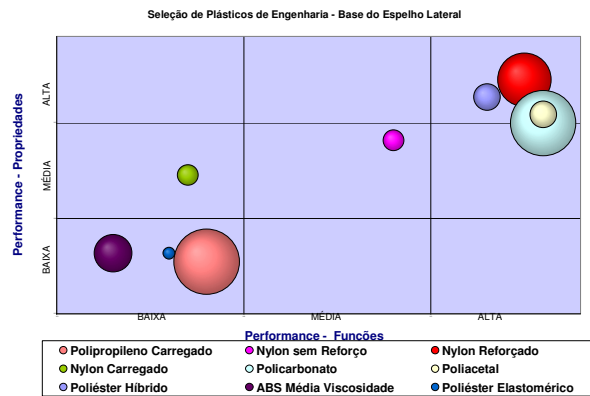
Tabela 8 – Matriz Eletrônica de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Atual (kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	0.3	3.2	3.2
Nylon Reforçado	2.0	3.6	3.6
Nylon Carregado	0.3	2.7	3.0
Poliacetel	0.5	3.6	3.4
Poliéster Híbrido	0.5	3.5	3.5
Policarbonato	3.0	3.6	3.3
ABS Média Viscosidade	1.0	2.5	2.6
Polipropileno Carregado	3.0	2.7	2.5
Poliéster Elastomérico	0.1	2.6	2.6

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Base do Espelho Lateral
Qual o nome do eixo X?	Performance - Funções
Qual o nome do eixo Y?	Performance - Propriedades
O que determina o tamanho da Bola ?	Volume Estimado no Carro (Kg)

Gráfico 1 – Matriz Eletrônica de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral



### 3.2 Simulação–Conceito de Componente Automotivo em Plástico de Engenharia

#### 3.2.1 Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão



Tabela 9 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Conceito: Capa da Engrenagem de Transmissão						
X: Performance - Funções	Plástico de Engenharia	Fator		Principais Funções		% de Importância
		1	2	3	4	
		1	2	3	4	20%
		2	3	4	5	20%
		3	4	5	6	20%
		4	5	6	1	15%
		5	6	1	2	15%
		6	1	2	3	10%

Plástico de Engenharia	Média_Notas & Pesos	Valores: 1= Fraco 5= Forte					
		1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	3.0	3.0	4.0	2.0	3.0	3.0	
Nylon Reforçado	3.6	4.0	4.0	3.0	4.0	2.0	
Nylon Carregado	3.1	3.0	3.0	4.0	3.0	2.0	
Poliacetel	3.3	4.0	3.0	3.0	4.0	2.0	
Poliéster Híbrido	3.6	4.0	3.0	4.0	4.0	2.0	
Policarbonato	2.7	3.0	4.0	4.0	1.0	2.0	
ABS Média Viscosidade	2.3	2.0	2.0	4.0	1.0	4.0	
Polipropileno Carregado	2.8	3.0	3.0	3.0	2.0	4.0	
Poliéster Elastomérico	3.2	2.0	5.0	4.0	3.0	1.0	

Tabela 10 – Matriz Eletrônica de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Conceito: Capa da Engrenagem de Transmissão						
Y: Performance - Propriedades	Fator	Principais Propriedades				% de Importância
		1	Alto Módulo de Flexão	20%		
2	Alto Impacto Izod	20%				
3	Bx. Abs. Umidade	20%				
4	Alta Resist. à Fluência	15%				
5	Alta Resist. Química	15%				
6	Menor Custo Relativo	10%				

Valores: 1= Fraco 5= Forte							
Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	3.0	3.0	4.0	2.0	3.0	3.0	3.0
Nylon Reforçado	3.6	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	2.0
Nylon Carregado	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Poliacetel	3.6	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	2.0
Poliéster Híbrido	3.6	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	2.0
Policarbonato	3.0	3.0	5.0	3.0	3.0	1.0	2.0
ABS Média Viscosidade	2.3	2.0	3.0	3.0	1.0	1.0	4.0
Polipropileno Carregado	2.8	2.0	3.0	4.0	1.0	2.0	5.0
Poliéster Elastomérico	2.7	1.0	5.0	4.0	1.0	3.0	1.0

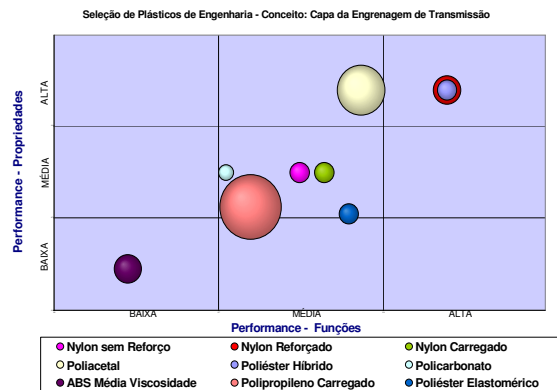
Tabela 11 – Matriz Eletrônica de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conceito: Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão –Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Atual (kg)	Performance -	
		Funções	Propriedades
Nylon sem Reforço	0.5	3.0	3.0
Nylon Reforçado	1.0	3.6	3.6
Nylon Carregado	0.5	3.1	3.0
Poliacetel	3.0	3.3	3.6
Poliéster Híbrido	0.5	3.6	3.6
Policarbonato	0.3	2.7	3.0
ABS Média Viscosidade	1.0	2.3	2.3
Polipropileno Carregado	5.0	2.8	2.8
Poliéster Elastomérico	0.5	3.2	2.7

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Conceito: Capa da Engrenagem de Transmissão
Qual o nome do eixo X?	Performance - Funções
Qual o nome do eixo Y?	Performance - Propriedades
O que determina o tamanho da Bola ?	Volume Estimado no Carro (Kg)

Gráfico 2 – Matriz Eletrônica de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conjunto - Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas doze simulações, com a finalidade de demonstrar a consistência da metodologia empregada, e em segundo lugar submeter a Matriz Eletrônica ao teste de vários componentes automotivos de diferentes regiões do veículo.

Das doze simulações, onze foram processadas para componentes existentes, e realizadas para se comparar os resultados teóricos obtidos para os plásticos de engenharia selecionados pela Matriz Eletrônica, aos resultados reais (componentes já fabricados em plásticos de engenharia). A única simulação que escapou dessa diretriz foi a Capa Conceito da Engrenagem de Transmissão, onde o componente está em desenvolvimento.

Os resultados obtidos, foram amplamente favoráveis, porque se alcançou 100% , no que concerne às famílias de plásticos submetidas ao processo de seleção em comparação às famílias realmente escolhidas na prática. E no caso, dos tipos de materiais exatos de cada família o acerto chegou a quase 82%. Isto porque, entre centenas de tipos, apenas 09 tipos foram escolhidos para o processo seletivo, e certamente se mais tipos fossem incorporados ao processo, os resultados dos tipos estariam ainda mais próximos dos 100% de acerto.

A seguir, analisa-se os dois resultados dos exemplos acima simulados.

Considerando a Base do Espelho Lateral, o Nylon reforçado teve maior pontuação, entretanto o poliéster híbrido ficou muito próximo. Neste caso, qualquer dos dois produtos poderiam ser especificados, visto os desempenhos alcançados por ambos em termos de pontuação, na prática entretanto os especificadores preferiram o Nylon reforçado, possivelmente devido à sua maior tradição em componentes automotivos e portanto por possuir uma vantagem competitiva na cadeia de valor agregada (produtores de plásticos, moldadores, sub-sistemistas e sistemistas, além dos OEMs e consumidores finais).

Quanto à Capa da Engrenagem de Transmissão, que se trata de uma peça não existente, por isso, aqui chamada de conceito. Neste caso, tanto o Nylon reforçado como o Poliéster Híbrido obtiveram notas idênticas (3,6 em relação às funções operacionais e 3,6 para o conjunto de propriedades imediatas e de uso contínuo). Então, havendo a possibilidade de se processar uma análise de elementos finitos ou de *Mold-Flow*, pode-se chegar a uma seleção mais fina, em função da precisão de simulação das tensões que o programa é capaz de testar. Mas caso, não haja esta possibilidade, a situação sugere que se construa o molde com os parâmetros utilizados para Poliéster Híbrido (maior precisão de medidas, e menores tolerâncias de folgas dimensionais entre os elementos metálicos da cavidade do molde), e testar-se os dois materiais (visto que possuem contrações e propriedades mecânicas muito próximas), no ambiente de operação, e processar-se a escolha daquele que exibir melhor desempenho técnico. A escolha por parâmetro de utilização em volume na região do carro a que se destina o componente, também é possível, pois o de maior volume tenderá a apresentar maior vantagem competitiva na cadeia de valor automotiva.

## 5 CONCLUSÃO

Os critérios de seleção para plásticos de engenharia, podem conforme demonstrado neste trabalho se tornar mais objetivos, bastando para isto que os profissionais da indústria automotiva, passem a considerar mais relevantes, as informações que já dispõe do projeto de componentes, especialmente aqueles destinados aos veículos chamados populares (sempre em evidência visto o claro objetivo de redução de custos), e através da metodologia aqui apresentada, construam uma ferramenta eficaz, para o processo de escolha inicial de um plástico de engenharia. Isto economizará, tempo e recursos importantes das empresas, sempre interessadas em ter sua competitividade aumentada, e aumentará a confiança de seus engenheiros temerosos em se arriscar num processo de seleção de materiais plásticos sem o conhecimento prévio na área de polímeros.

Partindo-se dos Mapas de Propriedades idealizados por Michael F. Ashby, aliados aos Gráficos de Índices de Mérito, a seleção de plásticos ganhou corpo no mundo acadêmico, sem no entanto, tornar-se uma solução para os engenheiros de produtos, projetistas, e outros profissionais ligados ao setor, onde predominam métodos empíricos e pouco objetivos (experiência prática da tentativa e erro). A Metodologia adotada neste estudo, demonstrou que se conhecendo o ambiente de trabalho que o componente atuará, é possível determinar-se as suas funções operacionais, e correlacioná-las, com as propriedades imediatas (obtidas diretamente dos catálogos dos fabricantes) e as propriedades de uso contínuo (obtidas por solicitações diretas aos fabricantes). E que ainda, pelo conhecimento das diferentes regiões do veículo, o profissional da indústria automotiva, é capaz de ponderar a importância das funções operacionais e das propriedades em cada uma delas. Isto é, atribuir pesos diferentes ou não (em %) a estas duas variáveis (funções e propriedades) pela relevância das regiões do veículo em estudo. Assim, para uma região como o habitáculo do motor, as funções operacionais térmicas (por exemplo, suportar calor sob carga) e as propriedades correlatas a estas funções (por exemplo, elevada temperatura de deflexão ao calor e elevada resistência à fluência) deverão ter um peso maior do que aquelas relacionadas à estética do componente (excelente acabamento superficial/alta resistência ao Xenonest).

É importante ressaltar, que este conhecimento é disponível a estes profissionais, bastando-lhes organizá-lo corretamente.

As simulações para a seleção de plásticos, realizadas neste trabalho por meio de uma Matriz Eletrônica, consideraram os componentes avaliados como se ainda não existissem, isto foi feito, para se certificar da eficiência da metodologia. Nos onze casos analisados, obteve-se um acerto de 100% nas famílias de plásticos de engenharia submetidos ao processo e de aproximadamente 82% nos tipos exatos de plásticos de engenharia estudados (isto é, nestes casos, a família de plásticos era a mesma encontrada na simulação eletrônica, e o que variava na escolha prática era a aditivação aplicada ao mesmo).

Esta porcentagem (82%) apenas não foi maior, porque apenas 09 tipos de plásticos foram utilizados no processo de seleção (dos quais, 02 não pertencentes à família dos plásticos de engenharia) entre centenas de sub-tipos disponíveis (derivados da mesma família, mas com aditivação diferente).

No que concerne ao teste realizado para o componente conceito (peça que realmente não existe), a Matriz Eletrônica para Seleção de Plásticos ilustrou bem a utilidade desta metodologia, visto que ao final, chegou-se a dois plásticos de engenharia como candidatos a atender todos os requisitos de funções operacionais e propriedades (imediatas e de uso contínuo), o que leva à decisão ou de complementar a análise com ferramentas mais robustas como o *Mold-Flow*, ou usinar-se um molde protótipo que atenda os requisitos para o plástico de engenharia mais demandante, e se injete em

ambos materiais (visto que a Matriz selecionou dois materiais que possuem praticamente a mesma contração na moldagem). E aquele que obtiver melhor desempenho prático, será o candidato escolhido. Ainda, pode-se conduzir esta escolha por parâmetro de utilização em volume, na região do carro a que se destina o componente, pois o de maior volume tenderá a apresentar maior vantagem competitiva na cadeia de valor automotiva. Ou seja, com esta avaliação evita-se um problema muito comum em desenvolvimento de peças plásticas: moldes confeccionados com contrações para plásticos sem reforço cristalinos (em geral, 2%), acabam injetando componentes em plásticos reforçados (contração em torno de 0,4%), pois os primeiros não cumpriram os requisitos técnicos no patamar estimado. O problema é claro, a peça injetada em material reforçado, tem um dimensional muito acima do necessário, causando problemas na sua montagem.

Dado o ineditismo do processo de seleção via matriz eletrônica, seu uso poderia ser ainda expandido às outras regiões de um veículo popular (componentes de: decoração, sistemas de combustíveis, portas, transmissão, chassis, etc.). Também, o rol de plásticos poderia ser aumentado e ainda, incluir o custo de processamento por peça. E através de uma ferramenta eletrônica mais robusta, tornar-se bastante útil aos profissionais do setor (sem formação específica em polímeros), para conduzir estudos iniciais na seleção e utilização dos plásticos, em inúmeros componentes que poderiam ser tornar mais competitivos, sobretudo devido à singular flexibilidade de *design*, às reduções vigorosas nos custos e da maior economia de combustível, proporcionadas pelo uso de plásticos de engenharia. Assim, organizando o conhecimento dos profissionais automotivos e aliando-o à utilização de critérios mais objetivos (pontuação e ponderação de pesos às funções operacionais e às propriedades intrínsecas - imediatas e de uso contínuo), o estudo demonstrou a possibilidade de se confeccionar uma matriz eletrônica capaz de selecionar plásticos de engenharia para componentes de veículos populares.

## REFERÊNCIAS

ASHBY, M. F. Material Selection in Mechanical Design. Butterworth. Heinemann. Oxford, 2000.

CRAWFORD, R.J. Plastics Engineering. Pergamon Press. Oxford, 1987.

FELICETTI, F.M. Apostila: Conceito das Propriedades dos Materiais Plásticos. Senai. S.Paulo, 1996.

FUNDAMENTALS OF MATERIAL SELECTION, Video Library For Engineering Polymers, Dupont , USA, 1994, 1 videocassete.

MASSARANI, M. & MATTOS, F.C.de. Apostila do Curso PMC 5602: Redução de Custos Através da Engenharia de Valor. Escola Politécnica da USP. S.Paulo, 2005.

PLASTIC MATERIAL SELECTION CRITERIA 2006. Copyright Boedecker Plastics. US. Disponível em: <http://www.boedecker.com/criteria.htm>. Acesso em: 8 de fevereiro de 2006.

PLASTICS PROPERTIES & TESTS METHODS LYBRARY (ASTM, ISO and IEC) 2006. US. Disponível em: [http://www.ides.com/property\\_descriptions](http://www.ides.com/property_descriptions). Acesso em: 20 de junho de 2006.

PROPERTIES ACCORDING TO ISO AND ASTM PROCEDURES. Dupont. USA, 1994.

PROPRIEDADES FUNDAMENTAIS E PRINCIPAIS ENSAIOS USADOS PARA CARACTERIZAÇÃO DE PLÁSTICOS. Disponível em: [www.planetaplastico.com.br](http://www.planetaplastico.com.br). Acesso em: 25 de março de 2006.

SANT'ANNA, J.A. & WIEBECK, H. Conversão de Peças de Metal para Plástico: O Desafio da Seleção de polímeros, Tendências e Exemplos. Palestra Proferida na Plast-Show 2006 em 10/05/2006.

USES & APPLICATIONS 2006. Dupont.US. Disponível em: [http://www2.dupont.com/Automotive/en\\_US/applications/index.html](http://www2.dupont.com/Automotive/en_US/applications/index.html). Acesso em: 15 de novembro de 2005.

WIEBECK, H.; HARADA , J. Plásticos de Engenharia: Tecnologia e Aplicações. Artliber Editora. S.Paulo, 2005.