UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

AUGUSTO MARCELINO LOPES DORNELES FILHO

Critérios na seleção de plásticos de engenharia para aplicações em veículos populares no Brasil

São Paulo
2006

AUGUSTO MARCELINO LOPES DORNELES FILHO

Critérios na seleção de plásticos de engenharia para aplicações em veículos populares no Brasil

Dissertação apresentada à Escolha Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Área de concentração: Engenharia Automotiva
Orientação: Prof. Dr. Marcos Mattos Pimenta

São Paulo
2006

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Catalogação na Publicação
Serviço de Documentação de Engenharia
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Dornelles Filho, Augusto Marcelino Lopes
Critérios na seleção de plásticos de engenharia para aplicações em veículos populares no Brasil / A.M.L. Dornelles Filho. -- São Paulo, 2006.
190 p.

Trabalho de curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1.Plásticos (Aplicações industriais) 2.Veículos populares - Brasil I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II.t.

DEDICATÓRIA

À Ormene Carvalho Coutinho Dorneles, minha esposa, com amor, admiração e gratidão por sua compreensão, carinho, presença e incansável apoio (mesmo!) ao longo do período de elaboração deste trabalho. E também aos meus pais Augusto e Yolanda e aos meus filhos Caio e Daniel, que me dão razões para valorizar meu passado, usufruir meu presente, e me motivar para o futuro.

AGRADECIMENTOS

Ao Doutor Professor Marcos Mattos Pimenta, pela atenção, apoio e amizade durante o processo de definição e orientação.

Ao Doutor Professor Marcelo Massarani, pelas críticas sempre construtivas que me ajudaram sobremaneira a aumentar meu ângulo de visão.

À Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Secretaria de Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva, pela gentileza e atenção durante todo o curso.

À Biblioteca do Departamento de Mecânica da Escola Politécnica, pelo empréstimo dos livros que utilizei.

À Dupont do Brasil, na pessoa do Diretor de Plásticos de Engenharia, Sr. Horácio Nestor Kantt, que patrocinou e forneceu todo o suporte necessário à conclusão deste curso.

EPÍGRAFE

‘‘Há homens que lutam um dia e são bons, há outros que lutam um ano e são melhores, há aqueles que lutam muito anos e são muito bons, mas há os que lutam e ‘aprendem durante’ todas as suas vidas, esses são os imprescindíveis’’.

Berthold Brecht

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Conceito de Propriedade para Plásticos (Van Krevelen - 'Properties of Polymers')	26
Figura 2	Fatores que influenciam no desempenho final do produto	26
Figura 3	Mufla utilizada no teste de teor de cinzas	34
Figura 4	Ensaio Típico de Resistência à Tração	35
Figura 5	Significados do Ensaio de Tração	36
Figura 6A	Ensaio de Módulo de Flexão: Configuração do Teste de Flexão	37
Figura 6B	Ensaio de Módulo de Flexão: Ponto de Máxima Tensão de Flexão/ Deformação das Fibras Laterais	37
Figura 7	O entalhe no corpo de prova Izod simula um canto vivo numa peça em plástico de engenharia	38
Figura 8	Ensaio de Impacto – Tipo Izod	39
Figura 9	Ensaio de Impacto – Tipo Charpy	39
Figura 10	Aparelho para determinação de Ponto Vicat	41
Figura 11	Teste de Temperatura de Deflexão ao calor (HDT)	42
Figura 12	Os gráficos mostram as variações de módulo de flexão de plásticos de engenharia amorfos e semicristalinos em função da temperatura. Importante: os dados de transição vítrea são raramente fornecidos nos catálogos dos fabricantes	43
Figura 13	Dispositivo de teste de coeficiente de dilatação térmica	44
Figura 14	Ensaio de Fluência simula a deformação permanente de componentes de plásticos de engenharia	47
Figura 15	Módulo de Fluência simula a resistência à deformação sob carga de componentes em plásticos de engenharia	48
Figura 16	Resistência à abrasão: importante no contato entre componentes de plásticos de engenharia e metálicos	48
Figura 17	Teste de Atrito	49
Figura 18	Dispositivo de teste CTI, UL 746 A modificado	51
Figura 19	Dispositivo de Teste para UL 94, HB	51
Figura 20	Dispositivo de Teste para UL 94, V-1, V-2 e V-0	52
Figura 21	Tela de Excel para definição do Eixo "X" – Funções	103
Figura 22	Tela de Excel para definição do Eixo "Y" – Propriedades Operacionais	104
Figura 23	Planilha de definição do gráfico de bolas	106
Figura 24	Botão para criação do gráfico de bolas	107
Figura 25	Definição do tipo de gráfico	108
Figura 26	Inclusão dos dados das bolas	109
Figura 27	Inclusão dos dados das bolas	110
Figura 28	Exemplo de inclusões de dados para o gráfico de bolas	111
Figura 29	Definições de títulos do gráfico de bolas	112
Figura 30	Definição dos formatos principais do gráfico de bolas	113
Figura 31	Definir o local de inclusão do gráfico de bolas	114
Figura 32	Exemplo de gráfico de bolas	115
Figura 33	Base da portinhola do tanque de combustível	117
Figura 34	Conjunto do Farol	124

Figura 35	Haste do limpador de pára-brisas traseiro	133
Figura 36	Base do espelho lateral	138
Figura 37	Galeria de combustível	143
Figura 38	Módulo frontal para sistemas	151
Figura 39	Capa deslizadora do cinto de segurança	156
Figura 40	Capa para *air-bag*	160
Figura 41	Base, capa e carretel de bobina de relê de controle	165
Figura 42	Conectores internos do painel	170
Figura 43	Conjunto capa plástica da engrenagem de transmissão	175

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Performance versus custo dos plásticos de engenharia	72
Gráfico 2	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível	123
Gráfico 3	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Lente do Conjunto do Farol	128
Gráfico 4	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol	132
Gráfico 5	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro	137
Gráfico 6	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral	142
Gráfico 7	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível	150
Gráfico 8	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas	155
Gráfico 9	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança	160
Gráfico 10	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag	164
Gráfico 11	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê de Controle	169
Gráfico 12	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos	174
Gráfico 13	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão	179

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Comparativo de Custo (US$/cm^3)	53
Tabela 2	Comparativo Temperaturas de Deflexão ao Calor em ^oC	54
Tabela 3	Comparativo Temperaturas de Uso Contínuo em º – RTI	55
Tabela 4	Comparativo de Módulo de Flexão	56
Tabela 5	Resistência à Fluência (Mpa) – ASTM D 2990	57
Tabela 6	Resistência ao Impacto Izod	58
Tabela 7	Resistência à Tração	59
Tabela 8	Resistência a Solventes e a Produtos Químicos em Geral	60
Tabela 9	Funções e propriedades para componentes em áreas exteriores do automóvel	66
Tabela 10	Funções e Propriedades para componentes do habitáculo do motor do automóvel	68
Tabela 11	Funções e propriedades para componentes em áreas interiores do automóvel	69
Tabela 12	Funções e propriedades para componentes eletro-automotivos	71
Tabela 13	Legenda de Desempenho e Respectiva Pontuação por Resistência	74
Tabela 14	Propriedades do Plástico: Polipropileno Carregado com 40% de Carga Mineral	74
Tabela 15	Propriedades do Plástico: ABS de Média Viscosidade para Injeção	76
Tabela 16	Propriedades do Plástico: Nylon não Reforçado	77
Tabela 17	Propriedades do Plástico: Nylon Reforçado com Fibra de Vidro / Nylon Carregado	79
Tabela 18	Propriedades do Plástico: Poliacetal	80
Tabela 19	Propriedades dos Plásticos: Poliéster Híbrido	82
Tabela 20	Propriedades do Plástico: Poliéster Elastomérico	84
Tabela 21	Propriedades do Plástico: Policarbonato	86
Tabela 22	Exemplo de tabela: Funções e propriedades para componentes em áreas exteriores do automóvel	90
Tabela 23	Principais propriedades dos plásticos de engenharia selecionados	93
Tabela 24	Resistência a Solventes e a Produtos Químicos em Geral (reprodução da Tabela 8)	95
Tabela 25	Principais funções dos plásticos de engenharia selecionados	97
Tabela 26	Qualificação das necessidades do componente: Base tampa de combustível	98
Tabela 27	Estimativa de consumo atual por carro em kg	100
Tabela 28	Definições do eixo “X” – Funções Operacionais	102
Tabela 29	Definições para o gráfico de bolas	105
Tabela 30	Necessidades do componente: Base da portinhola do tanque de combustível	118
Tabela 31	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível – Funções	120
Tabela 32	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível – Propriedades	121

Tabela 33	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível – Resumo	122
Tabela 34	Necessidades do componente: Lente do conjunto do farol	125
Tabela 35	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Lente do Conjunto do Farol – Funções	126
Tabela 36	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Lente do Conjunto do Farol – Propriedades	126
Tabela 37	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Lente do Conjunto do Farol – Resumo	127
Tabela 38	Necessidades do componente: Máscara e moldura do conjunto do farol	129
Tabela 39	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol – Funções	130
Tabela 40	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol – Propriedades	130
Tabela 41	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol – Resumo	131
Tabela 42	Necessidades do componente: Haste do limpador de pára-brisas traseiro	133
Tabela 43	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro – Funções	135
Tabela 44	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro – Propriedades	135
Tabela 45	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro – Resumo	136
Tabela 46	Necessidades do componente: Base do espelho lateral	138
Tabela 47	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral – Funções	140
Tabela 48	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral – Propriedades	140
Tabela 49	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral – Resumo	141
Tabela 50	Necessidades do componente: Galeria de combustível	144
Tabela 51	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível – Funções	146
Tabela 52	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível – Propriedades	147
Tabela 53	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível – Resumo	148
Tabela 54	Necessidades do componente: Módulo frontal para sistemas	151
Tabela 55	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas – Funções	153
Tabela 56	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas – Propriedades	154
Tabela 57	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas – Resumo	154
Tabela 58	Necessidades do componente: Capa deslizadora do cinto de segurança	157

Tabela 59	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança – Funções	158
Tabela 60	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança – Propriedades	159
Tabela 61	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança – Resumo	159
Tabela 62	Necessidades do componente: Capa para air-bag	161
Tabela 63	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag – Funções	163
Tabela 64	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag – Propriedades	163
Tabela 65	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag – Resumo	164
Tabela 66	Necessidades do componente: Base, capa e carretel de bobina de relê de controle	166
Tabela 67	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê de Controle – Funções	168
Tabela 68	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê de Controle – Propriedades	168
Tabela 69	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê – Resumo	169
Tabela 70	Necessidades do componente: Conectores internos do painel	171
Tabela 71	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos – Funções	172
Tabela 72	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos – Propriedades	173
Tabela 73	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos – Resumo	173
Tabela 74	Necessidades do componente: conjunto capa plástica da engrenagem de transmissão	176
Tabela 75	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão – Funções	178
Tabela 76	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão – Propriedades	178
Tabela 77	Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conceito: Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão – Resumo	179
Tabela 78	Resumo dos resultados das simulações (notas destacadas para o plástico selecionado)	183
Tabela 79	Resumo do desempenho da metodologia proposta	184

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO **18**

2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS PLÁSTICOS DE ENGENHARIA **24**
2.1 CONCEITO DE PROPRIEDADE EM PLÁSTICOS **24**
2.1.1. Propriedades imediatas e propriedades de uso contínuo 27
2.2 PROPRIEDADES IMEDIATAS **29**
2.2.1 Propriedades físicas mais comuns 29
2.2.1.1 Densidade (ASTM D-792) 31
2.2.1.2 Índice de fluidez (“Melt Flow Index” – ASTM D-1238) 31
2.2.1.3 Absorção de umidade (ASTM D-570) 32
2.2.2 Principais propriedades imediatas de origem térmica 33
2.2.2.1 Temperatura de fusão (ISO 3146) 33
2.2.2.2 Teor de cinzas (ASTM D-2584) 33
2.2.3 Propriedades mecânicas imediatas mais comuns 34
2.2.3.1 Resistência à tração, alongamento na ruptura e módulo elástico na tração (ASTM D-638) 34
2.2.3.2 Módulo de flexão (ASTM D-790) 36
2.2.3.3 Resistência ao impacto Izod e Charpy (ASTM D-256) 37
2.2.3.4 Dureza superficial (ASTM D-785) 39
2.3 PROPRIEDADES DE USO CONTÍNUO **40**
2.3.1 Propriedades de origem térmica mais comuns 41
2.3.1.1 Ponto Vicat (ASTM D-1525) 41
2.3.1.2 Temperatura de deflexão ao calor (ASTM D-648) 42
2.3.1.3 Temperatura de transição vítrea (ASTM E-1356) 43
2.3.1.4 Coeficiente de dilatação térmica (ASTM D-696) 44
2.3.2 Propriedades de origem elétrica mais comuns 45
2.3.2.1 Resistência dielétrica (ASTM D-149) 45
2.3.2.2 Resistividade volumétrica (ASTM D-257) 45
2.3.2.3 Constante dielétrica (ASTM D-150) 45
2.3.2.4 Resistência ao arco voltaico (ASTM D-495) 45
2.3.3 Propriedades de origem mecânica mais comuns 46
2.3.3.1 Resistência à fluência ou “Creep” (ASTM D-2990) 46
2.3.3.2 Módulo de fluência (ISO 899-2) 47
2.3.3.3 Resistência ao desgaste por abrasão (ASTM D-1044) 48
2.3.3.4 Coeficiente de atrito (ASTM D-1894) 49
2.3.4 Propriedades de uso contínuo de origem química 49
2.3.4.1 Resistência química (ASTM D-543) 49
2.3.5 Propriedades de uso contínuo: testes da UL (Underwriters Laboratories) 50
2.3.5.1 “Xenon-test” (UL 746 C) 50
2.3.5.2 Índice comparativo de rastreamento modificado para aplicações automotivas (CTI – UL 746 A) 50

2.3.5.3 Resistência à chama (UL 94) 51
2.4 COMPARATIVO DE PROPRIEDADES PARA PLÁSTICOS DE ENGENHARIA 52

3 METODOLOGIA PROPOSTA PARA SELEÇÃO DE PLÁSTICOS DE ENGENHARIA 54
3.1 ESCOLHA DAS PROPRIEDADES IMEDIATAS E DE USO CONTÍNUO 54
3.2 ESCOLHA DOS PLÁSTICOS DE ENGENHARIA PARA A SELEÇÃO 63
3.3 RELAÇÃO ENTRE FUNÇÕES DO PRODUTO E PROPRIEDADES DOS PLÁSTICOS DE ENGENHARIA 65
3.3.1 Áreas exteriores 65
3.3.2 Áreas do habitáculo do motor 67
3.3.3 Áreas do habitáculo interior 68
3.3.4 Áreas de componentes eletro-automotivos 70
3.4 A FUNÇÃO ECONÔMICA (REDUZIR CUSTOS) 72
3.5 PONTUAÇÃO PARA OS PLÁSTICOS DE ENGENHARIA ESCOLHIDOS 73
3.6 MÉTODO DE PONTUAÇÃO E PESOS DAS FUNÇÕES E PROPRIEDADES ESCOLHIDAS 89

4 MATRIZ ELETRÔNICA DE SELEÇÃO DE PLÁSTICOS DE ENGENHARIA 102
4.1 DESCRITIVO PARA A CONSTRUÇÃO DA MATRIZ ELETRÔNICA 102

5 SIMULAÇÕES, RESULTADOS E DISCUSSÃO 116
5.1 SIMULAÇÕES DE APLICAÇÕES NA ÁREA EXTERNA DE UM VEÍCULO POPULAR 117
5.1.1 Base da portinhola do tanque de combustível 117
5.1.2 Conjunto do farol: lente e máscara da moldura 124
5.1.2.1 Lente do conjunto do farol 124
5.1.2.2 Máscara da moldura do conjunto do farol 128
5.1.3 Haste do limpador de pára-brisas traseiro 132
5.1.4 Base do espelho lateral 137
5.2 SIMULAÇÕES DE APLICAÇÕES NA ÁREA DO HABITÁCULO DO MOTOR 142
5.2.1 Galeria de combustível 143
5.2.2 Módulo frontal para sistemas 150
5.3 SIMULAÇÕES DE APLICAÇÕES NA ÁREA DO HABITÁCULO INTERIOR 155
5.3.1 Capa deslizadora do cinto de segurança 156
5.3.2 Capa para ‘air bag’ 160
5.4 SIMULAÇÕES EM ÁREAS DE COMPONENTES ELETRO-AUTOMOTIVOS 165
5.4.1 Base, capa e carretel de bobina de relê de controle 165
5.4.2 Conectores internos do painel 170
5.5 SIMULAÇÃO-CONCEITO DE COMPONENTE AUTOMOTIVO EM PLÁSTICO DE ENGENHARIA 174
5.5.1 Conjunto capa plástica da engrenagem de transmissão 175

5.6 RESULTADOS E DISCUSSÃO **180**

6 CONCLUSÃO **185**

7 SUGESTÃO PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS **188**

REFERÊNCIAS **189**

RESUMO

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 chamados plásticos de engenharia são preferivelmente escolhidos devido à sua fácil processabilidade, 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 claramente optavam pelos plásticos chamados de termofixos, que hoje estão quase esquecidos ou obsoletos (principalmente devido aos processamentos mais custosos e/ou mais lentos). Hoje são largamente 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.

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.

1 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), e fornecedores da área em geral.

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 item "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 a serem consideradas 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 (suscetibilidade 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 mais Custos Agregados - relativos à facilidade ou não para Operações Secundárias como, pintura decoração, 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 nominação 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, listou-se ao lado destas, as principais propriedades (mais conectadas às estas mesmas funções) por área de utilização no automóvel (de maneira simplificada, optou-se por áreas : exteriores, do habitáculo do motor, do habitáculo interior e de componentes eletro-automotivos).

Assim, para uma aplicação do habitáculo do motor (exemplo: Módulo Frontal para Sistemas), e que o engenheiro ou projetista, elegeriam como funções principais, Suportar Cargas (ao Calor), Suportar Vibrações, Prover Rigidez, Prover Dimensional (estabilidade), Resistir a Óleos, e Reduzir Custos, se relacionaram 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, aplica-se um sistema de pesos e notas para as funções e propriedades dos plásticos submetidos ao processo de seleção, assim demonstra-se como se elege um Nylon reforçado com fibras de vidro para tal parte, por exemplo.

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, que variam em função da área do carro a que se destinam e sua performance geral (entendidas como as funções e suas respectivas propriedades correlatas).

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.

2 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS PLÁSTICOS DE ENGENHARIA

2.1 Conceito de Propriedade em Plásticos

As propriedades dos plásticos podem ser divididas em três classes: as intrínsecas, as de processamento e as de produto (Felicetti, 1996, pág.4). É importante enfatizar que estas propriedades estão intimamente ligadas e não podem ser consideradas separadamente. Felicetti (1996), afirma que Van Krevelen em seu livro 'Properties of Polymers', ratifica uma idéia desse inter-relacionamento (Figura 1).

As propriedades intrínsecas dizem respeito ao plástico como matéria, as propriedades do produto concernem ao objeto feito desta matéria, o seu tamanho e a sua forma.

Assim, quando se fala na leveza de um plástico, compreendemo-la como uma característica ou propriedade intrínseca (como densidade), já quando se menciona o peso (massa) de um pára-choque injetado em plástico para determinado veículo, pensamo-lo, em seu tamanho e sua forma, como uma propriedade de produto. A propriedade de processamento está posicionada entre as duas anteriores, já que se caracteriza por combinar algumas propriedades intrínsecas do plástico, que definem o tipo de processo, onde se inserem, o tipo de transformação (como injeção, extrusão, roto-moldagem por exemplos), operações secundárias (como pintura, gravação, polimento) e operações de montagem (encaixes sob pressão, soldagem por ultra-som). Durante o processamento, várias características são agregadas, no caso dos plásticos, por exemplo, a forma, o grau de rigidez ou flexibilidade, o grau de orientação molecular, as tensões residuais, a aparência superficial, etc. Fundamentalmente, esta combinação entre propriedades intrínsecas e propriedades de processamento, constitui as propriedades de uma entidade, que coletivamente, pode-se chamar de produto (tratado aqui por componente).

Claro, que o desempenho de um determinado plástico, é expresso pelo comportamento geral do componente. Desta forma, o comportamento do mesmo não se refere apenas à medida das propriedades intrínsecas de um plástico, mas antes à determinação "da forma na qual estas propriedades se modificam pelo método e condições de transformação, pela configuração da peça e pelas condições ambientais a que é submetida em serviço" (Ashby, 2000, pág.3). Assim, os efeitos das condições ambientais determinam as funções de um componente fabricado em plástico de engenharia (Figura 2), e que determinam o seu desempenho final, por exemplo, a rigidez de um plástico varia com o tempo, com a temperatura a que está exposto, e com a solicitação mecânica, assim como, a resistência ao impacto também é influenciada pelo efeito da temperatura, a presença de fluídos e óleos automotivos. E ambas são muito susceptíveis ao envelhecimento térmico e à ação da radiação ultravioleta. Sendo assim, também no processo de seleção de um plástico de engenharia é preciso se contar com diversos dados, que espelhem as mudanças das propriedades do material, em uma ampla gama de condições ambientais.

O conceito de propriedades é importante para que se compreenda a dificuldade da seleção de plásticos na indústria automotiva, e que a necessidade de maior objetividade para os critérios numa escolha inicial, implicará maior eficiência no processo de desenvolvimento de componentes alternativos, com economia de tempo e de outros recursos, acelerando o tempo de entrada num mercado cada vez mais dinâmico e competitivo.

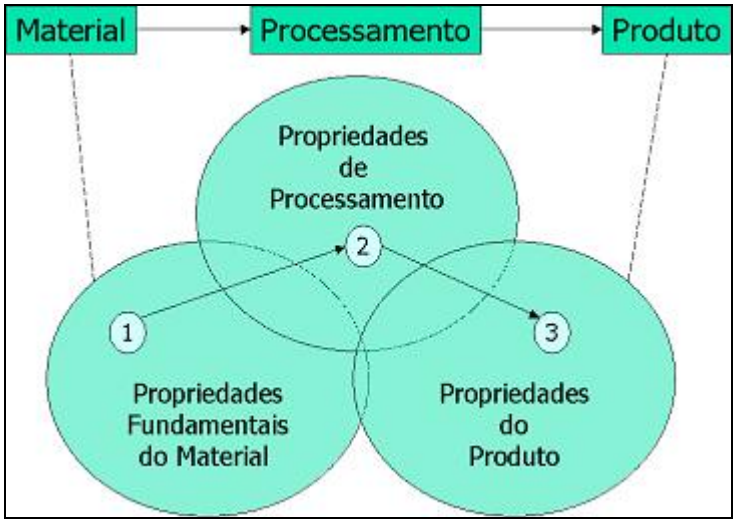


Figura 1 – Conceito de Propriedade para Plásticos (Van Krevelen - 'Properties of Polymers')

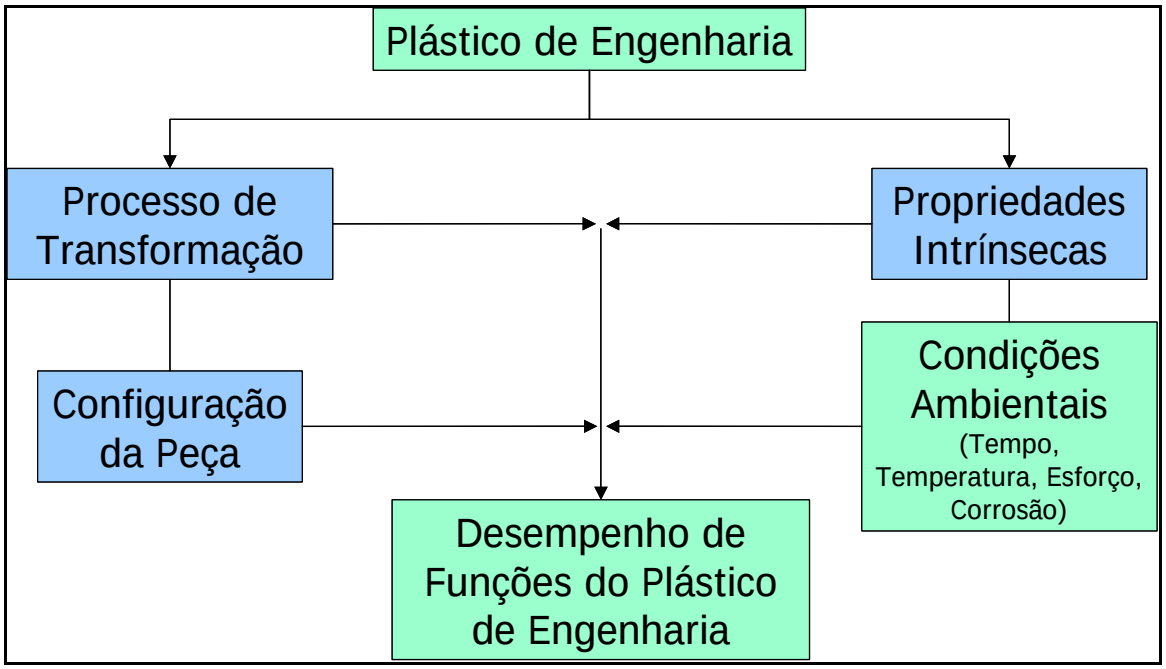


Figura 2 – Fatores que influenciam no desempenho final do produto

2.1.1 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 do desempenho 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 em seus sítios na Internet). 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.

2.2 Propriedades Imediatas

2.2.1 Propriedades Físicas Mais Comuns

O aprimoramento técnico presenciado nos dias atuais advém do trabalho de cientistas e profissionais que trabalham com plásticos. Novos plásticos, novas blendas e ligas são incorporados todos os dias, buscando um compromisso entre aumento da resistência e diminuição do custo. Para tanto, análises, testes e medições são maciçamente utilizadas. E assim tomados, como diretrizes, ‘normas ou procedimentos, usados na determinação de propriedades, composição ou desempenho de materiais, produtos, sistemas e serviços que possam ser especificados’ (Propriedades Fundamentais, 2006, pág.3).

Uma análise pode medir uma propriedade simples, ou várias propriedades ao mesmo tempo. Para se proceder a testes mais significativos, muitas vezes, se recorre a ensaios de engenharia experimental, onde uma propriedade imediata pode se tornar uma propriedade de uso contínuo. Por exemplo, a resistência ao impacto do tipo IZOD, pode ser adaptada do original (martelo de massa especificada que se choca contra um corpo de prova normalizado, com o objetivo de se medir o trabalho da força de impacto para romper uma dada área deste mesmo corpo de prova), para uma esfera metálica de uma dada massa, que se deixa cair em queda livre, de uma altura de 1 m, até atingir a lateral de uma calota plástica de uma roda típica de um veículo popular, posicionada na vertical e submetida a uma temperatura de 190°C, simulando o impacto de um estilhaço de pedra que se solta do asfalto na condição real de frenagem em uma ladeira. A ASTM, a ISO, a DIN, são organizações normalizadoras largamente utilizadas pelas montadoras instaladas no Brasil, já que as normas da ABNT ainda não se consolidaram no mercado automobilístico brasileiro, no que pese uma tendência futura de se utilizá-las, pois foram escritas com base naquelas mais tradicionais.

Avaliando o cenário geral de testes no Brasil, relativamente poucas empresas consumidoras de plásticos efetuaram qualquer tipo de testes nestes materiais, nos últimos dez anos. Especialmente, após o advento dos ‘Certificados de Análise ‘ impostos aos fabricantes de plásticos pelas Normas ISO 9000, e que propiciaram aos moldadores de plásticos, tornarem-se apenas controladores daqueles certificados. Os laboratórios internos de testes de propriedades físicas perderam importância nas empresas. Quando necessária alguma análise ou teste, tais empresas, costumam recorrer a terceiros (em geral, laboratórios de universidades, que cobram pelo serviço).

2.2.1.1 Densidade (ASTM D-792)

A densidade constitui-se em um dos mais importantes elementos que determinam o custo final do produto acabado, sendo sempre lembrada, quando a prioridade é redução do peso do veículo, para diminuir consumo de combustível. Além disso, a relação custo/volume (muitas vezes mais importante, que o preço por kg do plástico) e o próprio valor da densidade são largamente considerados no controle da produção, tanto de matérias-primas quanto na produção de artigos por injeção e extrusão (testes de caracterização e controle do peso de componentes injetados ou extrudados).

Densidade é entendida como sendo a razão entre a massa de uma dada quantidade de material a 23°C e o volume de água deslocado a esta mesma temperatura.

A densidade é uma propriedade essencial que pode ser utilizada na identificação de um material, ou na percepção de sua alteração física.

A norma ASTM D-792 descreve a realização desse ensaio, cujo resultado em geral é expresso em g/cm^3.

2.2.1.2 Índice de Fluidez ('Melt Flow Index' – ASTM D-1238)

Explicita a "Fluidez" (ou a viscosidade em estado fundido) dos materiais plásticos. É muitas vezes tomada como medida do peso molecular, já que guarda uma relação direta com a viscosidade.

Em geral, os materiais que são mais resistentes ao fluxo, são aqueles que apresentam maior peso molecular ou aqueles que são mais fortemente reticulados. Portanto, através do índice de fluidez, é possível avaliar qualitativamente o peso molecular de um polímero. A norma ASTM D- 1238

cobre o procedimento deste ensaio, e usa unidade é expressa em g/10 minutos. No caso dos poliacetais, sua aplicação é especialmente significante.

2.2.1.3 Absorção de Umidade (ASTM D-570)

Mensura o aumento na massa de um material plástico devido à absorção de umidade. Desta forma, os corpos de prova são secos por 24 horas, e então pesados antes e após 24 horas de imersão em água, durante vários intervalos de tempo. A absorção de umidade é importante porque afeta as propriedades mecânicas e elétricas, assim como as dimensões de moldados plásticos. Assim, plásticos de engenharia que absorvem menor quantidade de umidade, tendem a apresentar melhor estabilidade dimensional. A norma ASTM D-570 descreve o procedimento para medir esta característica. É de muita importância para os Nylons (6 e 66), devido à sua higroscopicidade natural.

2.2.2 Principais Propriedades Imediatas de Origem Térmica

2.2.2.1 Temperatura de Fusão (ISO 3146)

Os plásticos se tornam mais fluídos com o aumento de temperatura, enquanto plásticos de engenharia de origem cristalina (Nylons, Poliacetais, Poliésteres e etc.), apresentam uma temperatura de fusão bem definida, os plásticos de engenharia de origem amorfa (Policarbonato, PPO Modificado, ASA, etc.), amolecem e se tornam mais fluídos sob uma larga faixa de temperatura . Esta propriedade é de grande importância para a moldagem e operações de montagem. É expressa em graus Celsius no sistema internacional. A norma ISO 3146 descreve seu procedimento.

2.2.2.2 Teor de Cinzas (ASTM D-2584)

Determinação do teor de cargas ou reforços (Figura 3) pela queima da fase de material plástico (fase orgânica) a temperaturas acima de 600°C (acima dos pontos de fusão dos plásticos de engenharia mais conhecidos). O teor de cinzas é usado para determinar a quantidade de cargas numa amostra após a queima do plástico, assim é expresso pela divisão do peso das cinzas pelo peso da amostra original, multiplicada por 100, para se obter o resultado em porcentagem.

A importância do ensaio reside no fato de se conhecer o tipo de carga ou reforço presente no plástico de engenharia sob análise, e ainda a quantidade de carga ou reforço presentes. Desta forma, quanto maior a presença de cargas ou reforços, maior será a rigidez mecânica, maior será a densidade, menor será a contração, pior o acabamento superficial, e muitas vezes maior o desgaste de equipamento de processo e moldes.

Figura 3 – Mufla utilizada no teste de teor de cinzas
Fonte : www.ides.com

2.2.3 Propriedades Mecânicas Imediatas Mais Comuns

2.2.3.1 Resistência à Tração, Alongamento na Ruptura e Módulo Elástico na Tração (ASTM D-638)

As propriedades de tração (Figura 4) constituem-se nas mais importantes definidoras de resistência mecânica de um material. A força necessária para alongar (estirar) um corpo de prova é determinada juntamente com a medida do alongamento total do corpo de prova até a sua ruptura.

O temo de resistência à tração é um termo amplo. Na realidade deve-se distinguir 3 diferentes fenômenos:

(1) A tensão de escoamento (N/mm²)

(2) A tensão no ponto de ruptura para o caso de fratura na zona plástica (tenacidade).

(3) A máxima tensão para o caso de fratura instantânea.

O módulo elástico ou módulo de tração é a relação entre a tensão aplicada e a conseqüente deformação na região em que ela ocorre linearmente e proporcional à tensão.

O módulo elástico ainda é essencialmente uma medida da rigidez de material, sendo muito importante na escolha de um polímero que proveja alta rigidez mecânica.

Pode-se estabelecer que o plástico de engenharia ideal para um determinado componente automotivo deveria exibir comportamento semelhante ao observado na região em que o módulo é medido (Figura 5).

As propriedades de tração são descritas pela norma ASTM D-638, dentre outras, e são de relevância para plásticos de engenharia como os Poliacetais (sem carga), e Nylons e Poliésteres reforçados, os quais apresentam valores altos de resistência à tração.

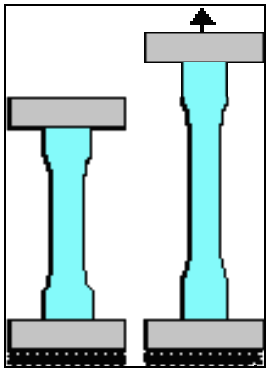


Figura 4 – Ensaio Típico de Resistência à Tração
Fonte : www.ides.com

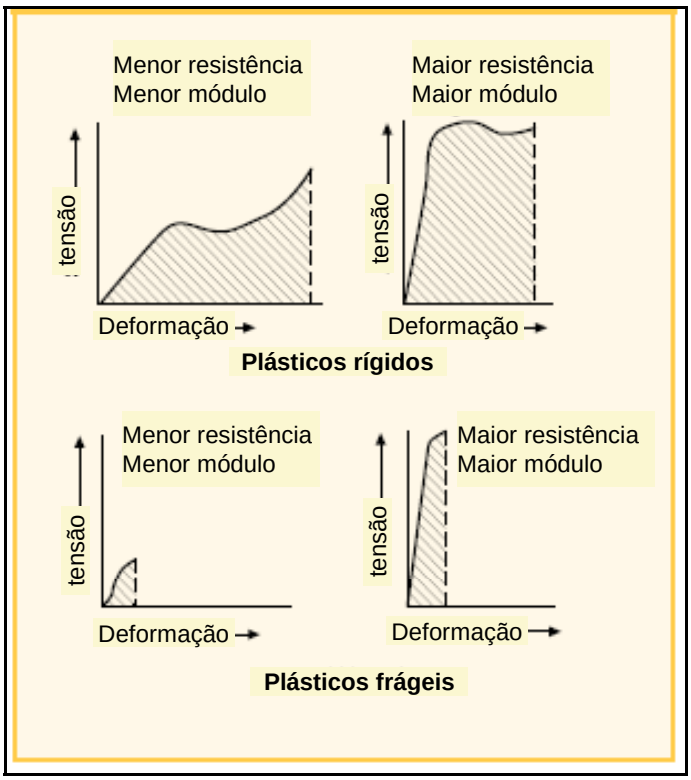


Figura 5 – Significados do Ensaio de Tração
Fonte: www.ticona.com

2.2.3.2 Módulo de Flexão (ASTM D-790)

Se um componente automotivo plástico ou metálico, na maioria das vezes de secção transversal retangular, sofre uma deflexão entre dois apoios, imediatamente se percebe que uma superfície do material se deforma em tração, enquanto a superfície oposta sofre compressão. Este comportamento ocorre, até que se alcance a linha entre as duas superfícies, chamada de linha de tensão zero ou do eixo neutro. O Módulo Elástico na Flexão ou Módulo de Flexão (Figura 6 A) é reportado usualmente como o módulo inicial na deflexão da curva de carga. Como a maior parte dos componentes automotivos são, na prática, submetidos a esforços de flexão (Figura 6 B), os

resultados obtidos nos ensaios de flexão conduzirão a valores de engenharia mais confiáveis num estudo de seleção de plásticos de engenharia.

A norma ASTM D-790, descreve o procedimento deste ensaio, particularmente importantes para plásticos como Poliacetais (sem carga), Nylons e Poliésteres reforçados.

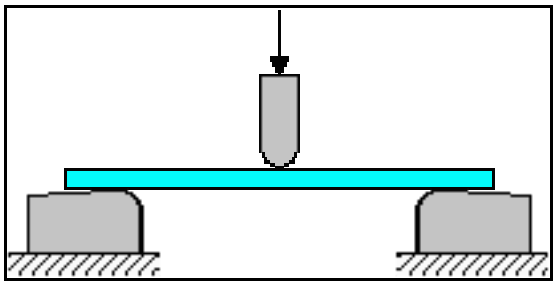


Figura 6A – Ensaio de Módulo de Flexão: Configuração do Teste de Flexão

Fonte : www.ides.com

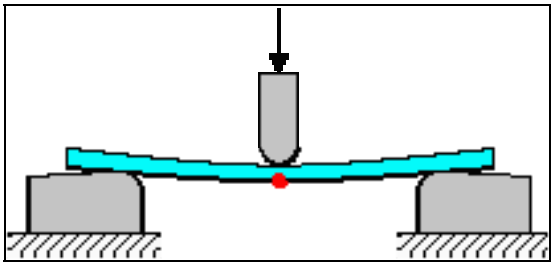


Figura 6B – Ensaio de Módulo de Flexão: Ponto de Máxima Tensão de Flexão/ Deformação das Fibras Laterais

Fonte : www.ides.com

2.2.3.2 Resistência ao Impacto IZOD e Charpy (ASTM D-256)

O teste de resistência ao impacto método IZOD, visa medir a energia necessária para romper um

corpo de prova injetado e entalhado sob condições padronizadas (Figura 7). Tal energia é calculada em J/m (sistema internacional de unidades).

Os testes de resistência ao impacto são eminentemente comparativos e, portanto, muito úteis quando se deseja fazer um "Ranking" de vários materiais para especificar o melhor para uma determinada aplicação. Porém, quando se comparam dois polímeros, é importante lembrar que a resistência ao impacto método IZOD (Figura 8), não deve ser considerada isoladamente como indicador da tenacidade do material, mesmo porque existem muitos polímeros que são sensíveis ao entalhe (presente nos corpos de prova quando desejado, por exemplo, simular a ação de uma força na região de um canto vivo de um componente) e, em virtude disso, exibirão uma elevada concentração de tensões na região posterior ao entalhe. Portanto, determinados polímeros de engenharia que têm excelentes propriedades mecânicas, como, por exemplo, o Nylon e o Poliacetal, têm relativamente baixa resistência ao impacto método IZOD.

A Resistência ao Impacto Charpy (Figura 9), é menos comum no Brasil, mas também é largamente utilizada entre as empresas européias. O teste é na prática, idêntico ao IZOD, com exceção do posicionamento do corpo de prova, que é colocado deitado, enquanto no método Izod, este é posicionado na vertical.

A ASTM D-256, descreve os procedimentos para estes dois tipos de ensaios de impacto.

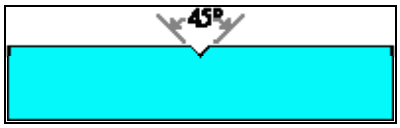


Figura 7 – O entalhe no corpo de prova Izod simula um canto vivo numa peça em plástico de engenharia.

Fonte : www.ides.com

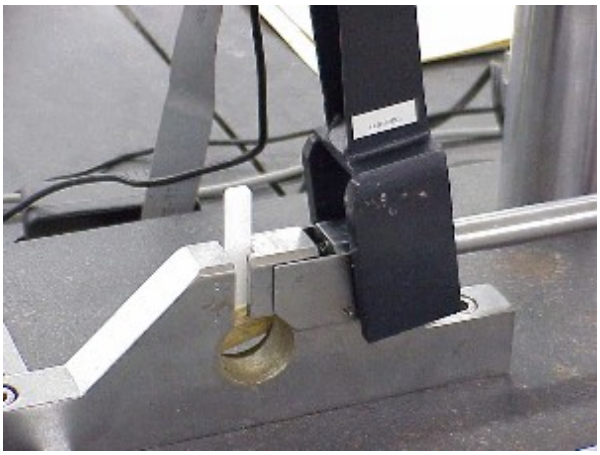


Figura 8 – Ensaio de Impacto – Tipo Izod
Fonte: www.ides.com

Figura 9 – Ensaio de Impacto – Tipo Charpy
Fonte : www.ides.com

2.2.3.4 Dureza Superficial (ASTM D-785)

Em geral, mede a dureza Rockwell, e pode ser utilizada para diferenciar as durezas relativas de diferentes tipos de um dado plástico de engenharia. No entanto, uma vez que a “Fluência” e a

“Resiliência” estão envolvidas na determinação da dureza, não é válido comparar “durezas” de vários tipos de plásticos, somente com este teste.

A dureza Rockwell não deve ser considerada como um indicador das condições de uso do material ou da resistência à abrasão do mesmo, mas pode ser usada como parâmetro de resistência a risco.

De acordo com a norma ASTM D-785, o valor da Dureza Rockwell de um plástico advém da profundidade de penetração de um corpo esférico no material, sob ação de uma carga. O valor da Dureza Rockwell de um material é sempre apresentado ao lado de uma “letra” que indica os diâmetros, da esfera, penetrador, a carga e a escala adotada.

A Dureza Rockwell está diretamente relacionada à dificuldade de perfurar o corpo de prova. Portanto, quanto maior o valor da Dureza Rockwell lida na escala do equipamento, maior será a dureza do material e sua resistência a risco.

2.3 Propriedades de Uso Contínuo

Assim como a resistência à tração é uma medida importante para as propriedades imediatas, a resistência à fluência o é, para as propriedades de uso contínuo. E isto ocorre, porque nesta propriedade uma carga constante é aplicada ao material e a variação de deformação ao longo do tempo é registrada. Desta forma, as propriedades intrínsecas quando testadas sob a vertente do tempo, e que de alguma forma possam ajudar numa possível extrapolação de desempenho a prazos maiores, caracterizam a peculiaridade das propriedades de uso contínuo. A importância deste tipo de propriedade está no papel de complementar as propriedades imediatas, cuja combinação resultante, ajuda a caracterizar o perfil geral de resistência dos plásticos de engenharia.

2.3.1 Propriedades de Origem Térmica Mais Comuns

2.3.1.1 Ponto Vicat (ASTM D-1525)

Esta análise se destina a estabelecer uma caracterização da resistência térmica de termoplásticos de engenharia (Figura 10).

Desta forma, a temperatura na qual uma agulha de secção transversal circular com área igual a 1 mm², penetra 1 mm de profundidade em um corpo de prova de material termoplástico; sob carga específica (geralmente 1 kg) e utilizando uma velocidade de aquecimento pré-selecionada, define o Ponto Vicat.

Os dados obtidos a partir desta análise podem ser usados para comparar a resistência térmica (ou ponto de amolecimento) de termoplásticos de engenharia.

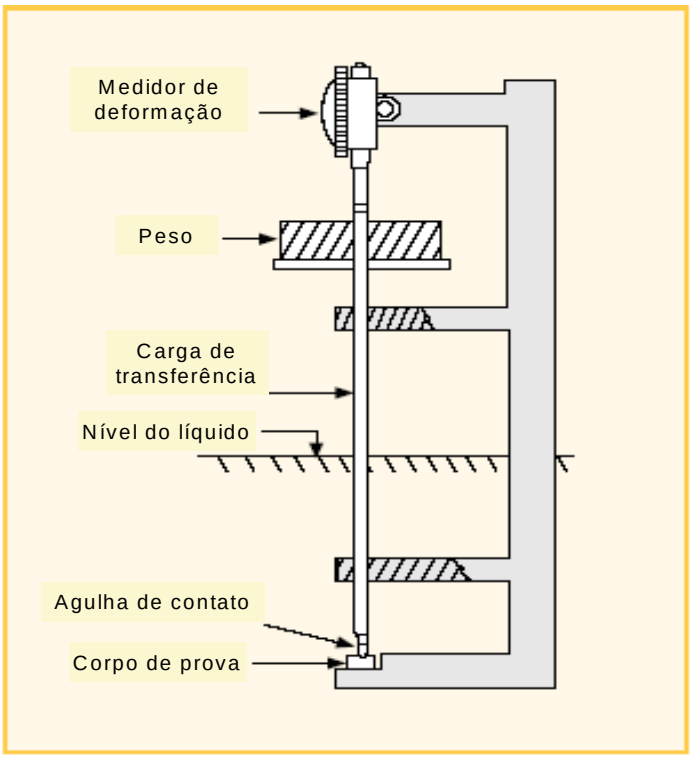


Figura 10 – Aparelho para determinação de Ponto Vicat. Fonte: www.ticona.com

2.3.1.2 Temperatura de Deflexão ao Calor (ASTM D-648)

Visa determinar a temperatura na qual uma deflexão ocorre, sob efeito de uma carga pré-escolhida (Figura 11). Nesse caso, não existe a intenção de se estabelecer os limites de temperaturas suportadas pelo material para aplicações específicas, mas fornecer uma idéia de resistência térmica sob cargas mecânicas, particularmente na seleção de plásticos.

Durante o teste, uma barra de secção transversal retangular é ensaiada como se fosse uma viga, no centro da qual é aplicada uma carga de 4,60 MPa ou 18,20 Mpa, com intuito de conferir a máxima tração lateral das fibras do material. A amostra sob ação de uma carga em um banho térmico que permite uma velocidade de aquecimento igual a 2 ± 0,2°C/min. A temperatura do meio é medida quando o corpo de prova sofre uma deflexão igual a 0,25mm. Esta temperatura é definida como sendo a "Temperatura de Deflexão ao Calor" da amostra.

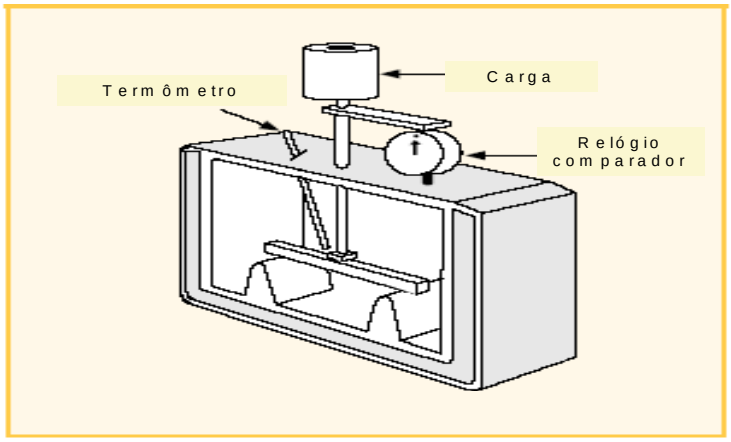


Figura 11 – Teste de Temperatura de Deflexão ao calor (HDT)
Fonte: www.ticona.com

2.3.1.3 Temperatura de Transição Vítrea (ASTM E-1356)

A temperatura na qual plásticos de origem amorfa experimentam uma alteração física, passando de um estado de rigidez, para uma condição de estado flexível, similar aos de borrachas. Para materiais semicristalinos, que exibem regiões amorfas e cristalinas simultaneamente, apenas as regiões amorfas sofrerão esta mudança (Figura 12).

ASTM E-1356, descreve o procedimento deste teste, que é particularmente importante para plásticos de engenharia de origem amorfa (Policarbonato por ex.), expressando o seus limites térmicos de uso.

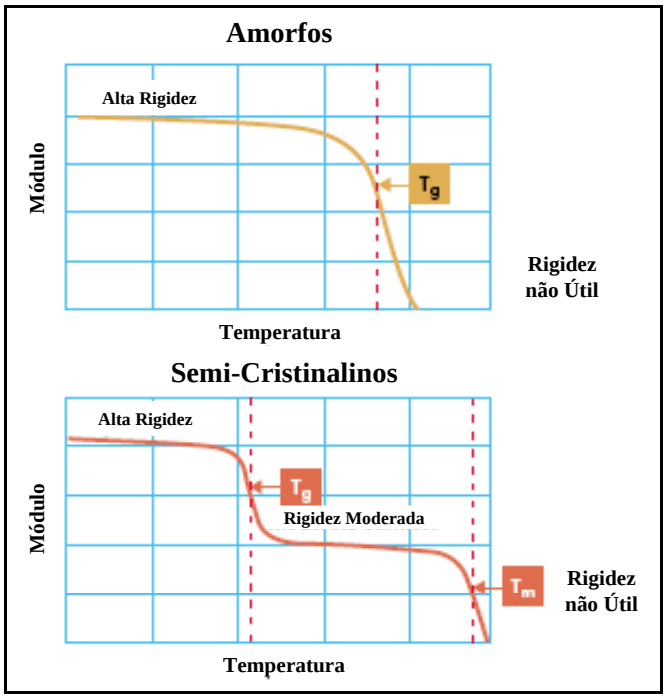


Figura 12 – Os gráficos mostram as variações de módulo de flexão de plásticos de engenharia amorfos e semicristalinos em função da temperatura. Importante: os dados de transição vítrea são raramente fornecidos nos catálogos dos fabricantes. Fonte: www.solvayadvancedpolymers.com

2.3.1.4 Coeficiente de Dilatação Térmica (ASTM D-696)

A dilatação térmica é normalmente definida como a alteração em comprimento por unidade de cumprimento, de um corpo de prova em plástico, por grau de variação de temperatura.

A norma ASTM D-696, dita o procedimento, que usa um dilatômetro de sílica (Figura 13), onde um corpo de prova é nele disposto e a variação de cumprimento que ocorre em função do aumento ou redução da temperatura é medida por um visor comparador montado na ponta de um tarugo de sílica.

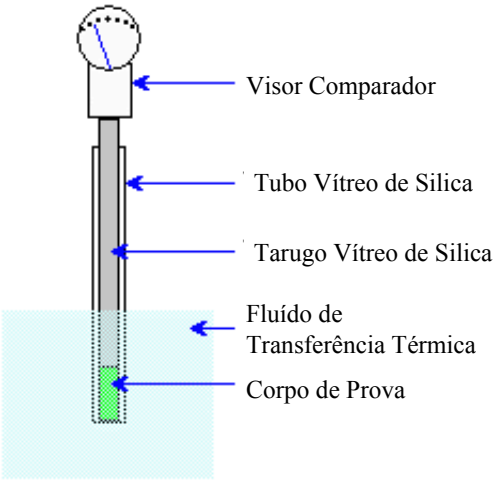


Figura 13 – Dispositivo de teste de coeficiente de dilatação térmica
Fonte : www.ides.com

2.3.2 Propriedades de Origem Elétrica Mais Comuns

2.3.2.1 Resistência Dielétrica (ASTM D-149)

Pode ser definida como a razão da tensão de ruptura dielétrica pela espessura do corpo de provas. Assim, um elevado valor de resistência dielétrica implica maior resistência a uma descarga elétrica. Sendo expressa, em kV/cm.

2.3.2.2 Resistividade Volumétrica (ASTM D-257)

Pode ser definida como o desempenho de um material à isolação elétrica, desta maneira, um elevado valor de resistividade volumétrica, implica menor tendência à corrente de fuga. É expressa em Ω-cm.

2.3.2.3 Constante Dielétrica (ASTM D-150)

Denota o desempenho como isolante elétrico, assim, para valores mais baixos de constante dielétrica, melhor é o isolante. Seu valor é adimensional.

2.3.2.4 Resistência ao Arco Voltaico (ASTM D-495)

Mede o número de segundos que um material resiste à formação de uma rota condutora na superfície de um corpo de prova, quando submetido a um arco de alta voltagem intermitente e de

baixa corrente. O resultado em corpos de prova de 3 mm é considerado representativo do desempenho do material, seja qual for a espessura. Assim, quanto maior o tempo em segundos que um material resista ao arco voltaico, sem apresentar falhas (micro-fissuras ou queima superficial, por exemplo), mais resistente a aplicações que necessitem essa propriedade (caixa de fusíveis e interruptores, como exemplo).

2.3.3 Propriedades de Origem Mecânica Mais Comuns

2.3.3.1 Resistência à Fluência ou 'Creep' (ASTM D-2990)

Fluência (Figura 14), é a deformação resultante de aplicação prolongada de tensão abaixo do limite elástico, sendo influenciada pelo valor da carga, o tempo que a mesma é aplicada, e a temperatura. Em geral, aplica-se o procedimento ditado pela norma ASTM D-2990, assumindo uma temperatura de 100°C e sob uma carga de 41 MPa em regime de 500 a 3000 horas de exposição, para os plásticos de engenharia.

O teste na tração consiste da aplicação de uma carga em um corpo de prova, medindo-se a deformação após um tempo determinado.

O teste na flexão produz uma deformação nas fibras laterais pela aplicação de uma carga de flexão, depois de determinado tempo.

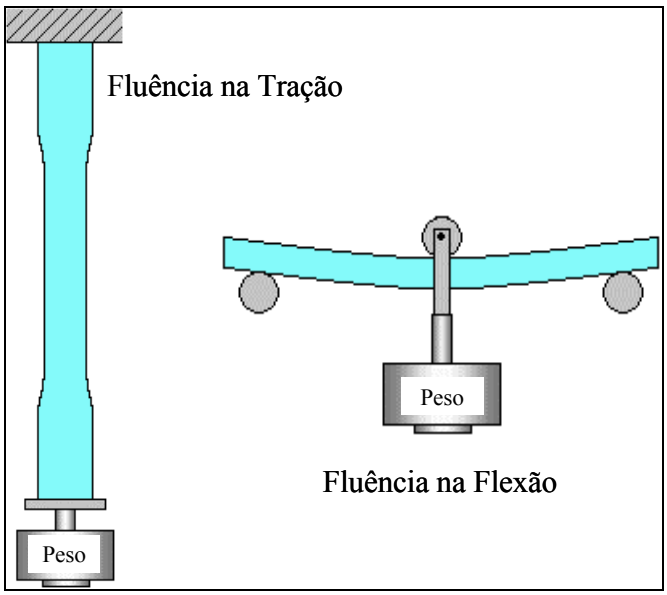


Figura 14 – Ensaio de Fluência simula a deformação permanente de componentes de plásticos de engenharia. Fonte : www.ides.com

2.3.3.2 Módulo de Fluência (ISO 899-2)

A relação da tensão inicial de fluência pela deformação, após determinado tempo sob condições específicas (Figura 15). Assim, um corpo de prova é submetido à flexão sob uma carga constante. O resultado de deflexão é medido depois de um tempo específico. Sob flexão, produz uma deformação nas fibras laterais pela aplicação de uma carga de flexão, após determinado tempo. Quanto maior o módulo de fluência, maior a resistência à deformação sob carga por período de tempo. É expresso em Mpa ou N/mm².

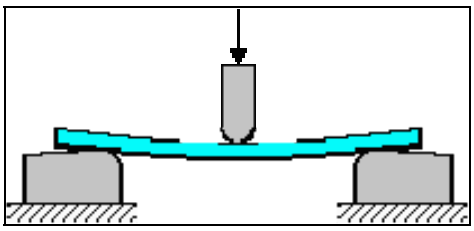


Figura 15 – Módulo de Fluência simula a resistência à deformação sob carga de componentes em plásticos de engenharia. Fonte : www.ides.com

2.3.3.3 Resistência ao Desgaste por Abrasão (ASTM D-1044)

A resistência à abrasão é normalmente medida pela alteração da massa de um corpo de prova, após determinado número de ciclos. A alteração da massa resulta da abrasão sofrida pelo corpo de prova. O resultado é expresso em mg/1000 ciclos (Figura 16).

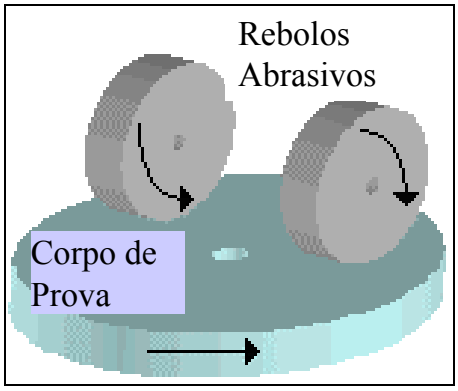


Figura 16 – Resistência à abrasão: importante no contato entre componentes de plásticos de engenharia e metálicos.

Fonte : www.ides.com.

2.3.3.4 Coeficiente de Atrito (ASTM D-1894)

É a relação entre a força requerida para mover uma superfície sobre outra e a força normal total aplicada nestas superfícies (Figura 17). Os valores de coeficientes de atrito são relacionados a filmes extraídos dos plásticos que se quer avaliar.

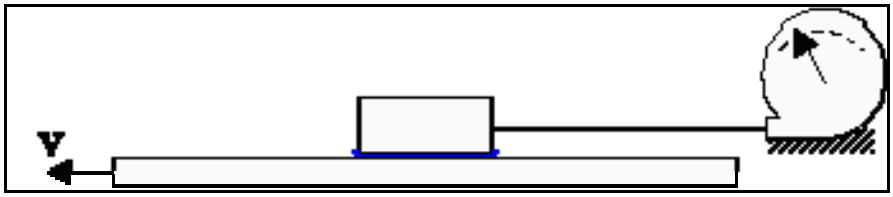


Figura 17 – Teste de Atrito

Fonte: www.ides.com

2.3.4 Propriedade de Uso Contínuo de Origem Química

2.3.4.1 Resistência Química (ASTM D-543)

Este teste avalia os plásticos de engenharia em termos de resistência aos reagentes químicos, simulando seu desempenho em ambientes de uso final. Estes reagentes podem ser lubrificantes, agentes de limpeza, tintas, alimentos ou outra substância à qual é esperado que o componente entre em contato. Assim, avalia: alterações de peso, dimensões, aparência e resistência mecânica, sob temperaturas elevadas, deformações sob carga em função do tempo.

2.3.5 Propriedades de Uso Contínuo: Testes da UL (Underwriters Laboratories)

2.3.5.1 'Xenon-Test' (UL 746 C)

Um material que é considerado adequado ao uso externo se testado de acordo com exposição à luz Ultravioleta (UV), por 720 horas a 1.000 horas numa câmara de "Xenon-Test" com ou sem exposição à água por 7 dias a 70°C. O plástico de engenharia é testado antes e após a exposição, abrangendo testes de flamabilidade, e resistência mecânica – rigidez e impacto.

Os resultados podem levar a uma das seguintes observações:

(f1) – Adequado para uso externo com relação à exposição à luz Ultravioleta, exposição ou imersão à água, de acordo com UL 746C. Essa condição indica que o material alcançou ambos os requisitos, de imersão à água e a UV, como determinado no UL 746C.

(f2) – Submissão a um ou mais dos seguintes testes: luz ultravioleta, exposição ou imersão à água, de acordo com o teste UL 746C, e a aceitação do uso externo precisa ser determinado pelo Underwriters Laboratories Inc. Esta observação indica que o material foi aceito ou foi testado apenas parcialmente para UV ou imersão à água.

2.3.5.2 Índice Comparativo de Rastreamento Modificado para Aplicações Automotivas (CTI – UL 746 A)

O índice comparativo de rastreamento (Figura 18) é expresso como a voltagem, que causa rastreamento depois da aplicação de 50 gotas de uma solução de Cloreto de Amônia, sobre a superfície de um corpo de prova. O resultado do teste em uma placa de espessura nominal de 3 mm é considerado representativo para qualquer espessura.

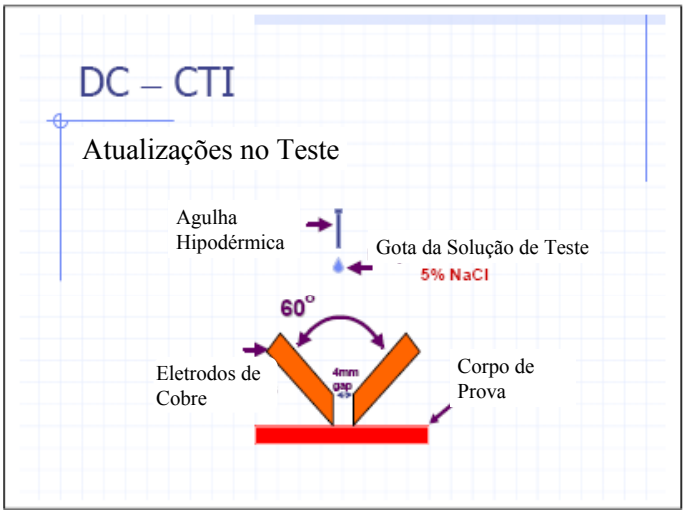


Figura 18 – Dispositivo de teste CTI, UL 746 A modificado

2.3.5.3 Resistência à Chama (UL 94)

As medidas UL 94 agrupam materiais em categorias baseadas nos seus comportamentos de flamabilidade. Assim, para plásticos de engenharia variam de uma classificação de menor resistência à chama – HB (Figura 19), melhorando o desempenho para as classificações em ordem crescente de resistência, V-1, V-2 e V-O (Figura 20).

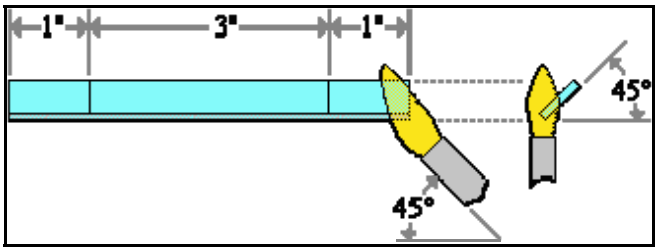


Figura 19 – Dispositivo de Teste para UL 94, HB. Fonte : www.ides.com

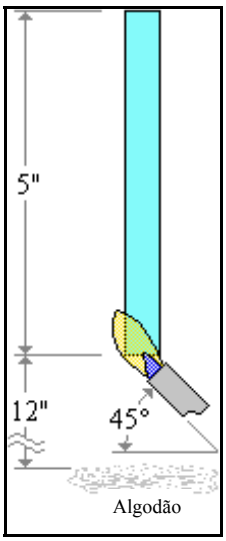


Figura 20 – Dispositivo de Teste para UL 94, V-1, V-2 e V-0. Fonte : www.ides.com

2.4 Comparativo de Propriedades para Plásticos de Engenharia

Para simplificar a seleção, algumas tabelas complementares (mostradas a seguir) poderão ser consultadas, para que se estabeleçam comparações de valores específicos de entre as propriedades dos diferentes plásticos aqui considerados (nem todas propriedades e valores estarão contemplados, pois estão disponíveis em numerosos sítios na internet e catálogos dos fabricantes). Embora tais valores aqui mostrados expressem propriedades medidas em corpos de prova, o que conceitualmente e concretamente são diferentes das propriedades dos componentes reais.

Ainda assim, se adequam para o propósito deste trabalho, já que pela influência delas ajudam a associar seus significados físicos e termo-mecânicos às funções de operação definidas pelo ambiente de atuação desses mesmos componentes.

De fato, as notas (pontuação, que adiante será tratada – **3.5**) para cada um dos produtos foram concedidas com base em seus valores peculiares de performance para cada propriedade (Tabelas

1 a 8), e ajudaram no processo de construção da Matriz Eletrônica para a Seleção de Plásticos de Engenharia, também para atender o interesse desse estudo.

Devido à grande variação de valores de propriedades dos plásticos pesquisados, optou-se por usar como fontes, o livro de Hélio Wiebeck e Julio Harada – Plásticos de Engenharia de 2005, a tabela referência de propriedades da Dupont – 'Properties According to ISO and ASTM Procedures' de 1994, e a apresentação de Michel Renaud, Introduction to Material Selection Rev. 2a, de maio de 2005, buscando uma homogeneidade maior de valores.

Tabela 1 – Comparativo de Custo (US$/cm^3)

Custo US$/cm3	**Plástico**	**Custo US$/kg**
6,50	Polipropileno Carregado	1,40
7,30	ABS Média Viscosidade	1,90
9,70	Nylon sem reforço	3,00
9,90	Poliacetal	2,70
10,20	Policarbonato	3,50
10,50	Nylon Carregado	3,10
11,00	Poliéster Híbrido	3,10
12,10	Nylon Reforçado	3,30
18,60	Poliéster Elastomérico	10,00

Fonte: Renauld, 2005.

Tabela 2 – Comparativo Temperaturas de Deflexão ao Calor em ^{o}C

ASTMD648 / ISO 75-1&2(1,82 Mpa e 0,46Mpa)	
249/260	Nylon Reforçado
222/254	Nylon Carregado
220/247	Poliéster Híbrido
129	Poliacetal
125	Policarbonato
90/235	Nylon sem reforço
85/102	ABS Média Viscosidade
76/140	Polipropileno Carregado
50/115	Poliéster Elastomérico

Fonte: Properties According to ISO and STM Procedures, USA – 1994;
Plásticos de Engenharia, S.Paulo – 2005,

Tabela 3 – Comparativo Temperaturas de Uso Contínuo em º – RTI

UL 94 – RTI	
140	Poliéster Híbrido
135	Nylon Reforçado
130	Nylon Carregado
120	Policarbonato
115	Nylon sem Reforço
105	Poliacetal
100	Poliéster Elastomérico
90	Polipropileno Carregado
80	ABS Média Viscosidade

Fonte: Properties According to ISO and ASTM Procedures, USA – 1994;
Plásticos de Engenharia, S.Paulo – 2005

Tabela 4 – Comparativo de Módulo de Flexão

ASTMD-790 (Mpa)	
9100	Poliéster Híbrido
8960	Nylon Reforçado
6890	Nylon Carregado
2830	Poliacetal
2827	Nylon sem Reforço
2760	Policarbonato
2560	ABS Média Viscosidade
1900	Polipropileno Carregado
300	Poliéster Elastomérico

Fonte: Properties According to ISO and ASTM Procedures, USA – 1994; Renaud, Switzerland, 2005; Plásticos de Engenharia, S. Paulo – 2005;

Tabela 5 – Resistência à Fluência (Mpa) – ASTM D 2990

ASTM (M Pa)	
1.000	Poliéster Híbrido
680	Nylon Reforçado
360	Nylon Carregado
250	Poliacetal
220	Policarbonato
215	ABS Média Viscosidade
83	Nylon sem Reforço
65/85	Polipropileno Carregado
30	Poliéster Elastomérico

Fonte: Renaud, Switzerland, 2005.

Tabela 6 – Resistência ao Impacto Izod

ASTMD-256 (J/M)	
420	Policarbonato
376	ABS Média Viscosidade
210	Poliéster Elastomérico
117	Nylon Reforçado
101	Poliéster Híbrido
80	Poliacetal
53	Nylon sem Reforço
48	Nylon Carregado
21	Polipropileno Carregado

Fonte: Properties According to ISO and ASTM Procedures, USA – 1994/Plásticos de Engenharia, S.Paulo – 2005

Tabela 7 – Resistência à Tração

ASTMD-638 (MPa)	
186,0	Nylon Reforçado
158,0	Poliéster Híbrido
130,0	Nylon Carregado
82,8	Nylon sem reforço
69,0	Poliacetal
62,0	Policarbonato
45,8	Poliéster Elastomérico
34,5	ABS Média Viscosidade
31,7	Polipropileno Carregado

Fonte: Properties According to ISO and ASTM Procedures, USA – 1994/Plásticos de Engenharia, S.Paulo – 2005

Tabela 8 – Resistência a Solventes e a Produtos Químicos em Geral

Material	Álcool	Aldeído	Aromá-ticos	Gaso-lina	Ceto-nas	Água Quente	Óleos/ Graxas	Água Salgada	Pontos Totais	Resistência Química Geral
Poliacetal	3	3	3	3	3	2	3	3	23	5
Nylon sem Reforço	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
Nylon Reforçado	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
Nylon Carregado	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
Poliéster Híbrido	3	1	2	3	2	1	3	3	18	4
Poliéster Elastomérico	3	1	2	3	2	1	3	3	18	4
Polipropileno Carregado	1	3	1	2	1	1	1	3	13	2
ABS Média Viscosidade	2	1	1	1	1	1	1	3	11	1
Policarbonato	2	1	1	1	1	1	1	3	11	1

Pontuação dos materiais plásticos em relação aos produtos químicos:
1 – Afetado
2 – Ligeiramente Afetado
3 – Não Afetado

Resistência Química Geral (Componentes Automotivos)
Avaliação do Desempenho de Acordo com a Pontuação Obtida:

+ de 18 pontos:	5 (Forte)
De 16 a 18 pontos:	4 (Bom)
De 13 a 15 pontos:	3 (Regular)
De 12 a 14 pontos:	2 (Modesto)
– de 12 pontos:	1 (Fraco)

Fonte: Plásticos de Engenharia de 2005

3 METODOLOGIA PROPOSTA PARA SELEÇÃO DE PLÁSTICOS DE ENGENHARIA

3.1 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$/cm³)

O mesmo procedimento é aplicado às propriedades físico-termo-mecânicas de prazo e 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$/cm³). 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).

3.2 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 s 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 sistemistas e sub-sistemistas.

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.

3.3 Relação entre Funções do Produto e Propriedades dos Plásticos de Engenharia

3.3.1 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.

Deste modo, a estética curvilínea de lentes de faróis e de pára-brisas presentes no mercado, são atraentes aos olhos dos consumidores, mas demandam alta tecnologia (no âmbito do mercado automotivo) para serem concebidos.

É o caso também, de alguns componentes que serão apresentados na área de exteriores, neste trabalho, como as máscara e a moldura para os sistemas de faróis, que tem no seu acabamento espelhado, a função de prover beleza, como determinante, e que faz o consumidor final, até escolher um automóvel pelo formato e beleza de seu sistema de faróis.

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 (Tabela 9).

Tabela 9 – Funções e propriedades para componentes em áreas exteriores do automóvel.

Principais Funções do Produto (Componentes Exteriores)	Propriedades Relacionadas às Funções do Produto
1- Prover Estabilidade Dimensional	Baixas: Absorção de Umidade e Contração
2- Resistir ao Estiramento	Altas: Resistência à Tração 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: Resistência 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 Metalização, Cromação e Soldagem	Alto Ponto de Fusão
10- Prover Ótimo Aspecto Superficial, e Prover Beleza	Alta Resistência a Intempéries / Oxidação
11- Prover Leveza (Economia de Combustível e Menor Desgaste do Conjunto Suspensão), Reduzir Custos	Menor Densidade, Menor Custo Relativo

3.3.2 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 fluídos de freio e refrigerantes do motor. Também estão expostos a vibrações severas e constantes, e forças de aceleração, em alguns casos superiores a 40 G durante o funcionamento do veículo.

Em geral, os componentes nas áreas do habitáculo do motor, podem ser divididas em quatro grupos: componentes expostos ao ar quente (exemplos: ventiladores do motor, carcaça do filtro de ar, coletor de admissão); componentes expostos ao calor e fluídos refrigerantes (exemplos: tanques de radiadores, carcaças de bomba d'água, trocadores de calor); componentes expostos ao ar quente e a lubrificantes (exemplo: mancais e rolamentos do sistema de transmissão); e componentes expostos aos combustíveis (exemplos: carcaça do injetor de combustível, galeria de combustível). Neste trabalho, serão considerados os quatro grupos como um todo, já que o propósito é o de demonstrar os critérios de seleção de plásticos de engenharia como ferramenta de uso geral.

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 (Tabela10).

Tabela 10 – 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

3.3.3 Áreas do Habitáculo Interior

Devido às suas características e flexibilidade de formato (‘design’), os plásticos de engenharia são muitos utilizados em componentes estruturais no compartimento dos passageiros. O aumento do uso de plásticos nesta área, também é resultado do aumento no conforto imposto pelas

necessidades do consumidor moderno. Assim, se impôs à indústria automotiva, uma maior sofisticação no desenho desta área, enfatizando-se, o comportamento acústico, a estética (apelo visual – harmonia de cores, formatos, cheiros e acabamentos, enfim, o sentir-se bem), estabilidade e precisões dimensionais (evitando-se desprendimento espontâneo de componentes), boas propriedades mecânicas (rigidez e tenacidade) e ao risco, proporcionando fundamentalmente beleza.

A seguir, estão listadas as principais funções de componentes e propriedades dos plásticos de engenharia (Tabela 11), necessárias para esta região de um automóvel.

Tabela 11 – Funções e propriedades para componentes em áreas interiores do automóvel

Principais Funções do Produto (Habitáculo Interior)	**Propriedades Relacionadas às Funções do Produto**
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

continua

conclusão

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

3.3.4 Áreas de Componentes Eletro-Automotivos

Atualmente, os plásticos de engenharia desempenham um papel muito importante nos sistemas elétricos e eletrônicos de um veículo popular, basicamente os componentes em plásticos como interruptores, relês, sensores, cabos, conectores, bases de fusíveis, e etc., permitem ou isolam, o fluxo de elétrons de um gerador / bateria até as áreas mais remotas do automóvel (faróis, limpadores de pára-brisas, ventiladores, sistemas hidráulicos, lanternas, controle de luzes, comando de vidros elétricos, e etc.). Em geral tais componentes, devem operar à temperatura ambiente na qual o veículo circula (-40 °C a 80°C), entretanto quando próximas da área do motor ou submetidas a elevadas corrente, precisam suportar temperaturas da ordem de 160°C ou mais (Índices de Temperaturas UL).

Além do fator térmico, as propriedades dielétricas são imprescindíveis, especialmente se aliadas com boas características de resistência à chama (UL 94), resistência à tração, e balanceamento entre rigidez (módulo) e tenacidade (resistência ao impacto e alongamento na ruptura).

Para os componentes eletro-automotivos (elétricos e eletrônicos), a diversidade de propriedades varia bastantes, já que, funções, tamanhos e localizações são heterogêneas e dependem de veículo para veículo.

Entretanto, a seguir estão listadas as principais funções de componentes e propriedades dos plásticos de engenharia (Tabela 12), necessárias em geral para estas aplicações.

Tabela 12 – Funções e propriedades para componentes eletro-automotivos

Principais Funções do Produto (Eletro-Automotivas)	**Propriedades Relacionadas às Funções do Produto**
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

3.4 A Função Econômica (Reduzir Custos)

Uma função comum a todas as áreas de aplicação em veículos populares, é a econômica, que será aqui relacionada ao custo volumétrico do produto (gráfico 1).

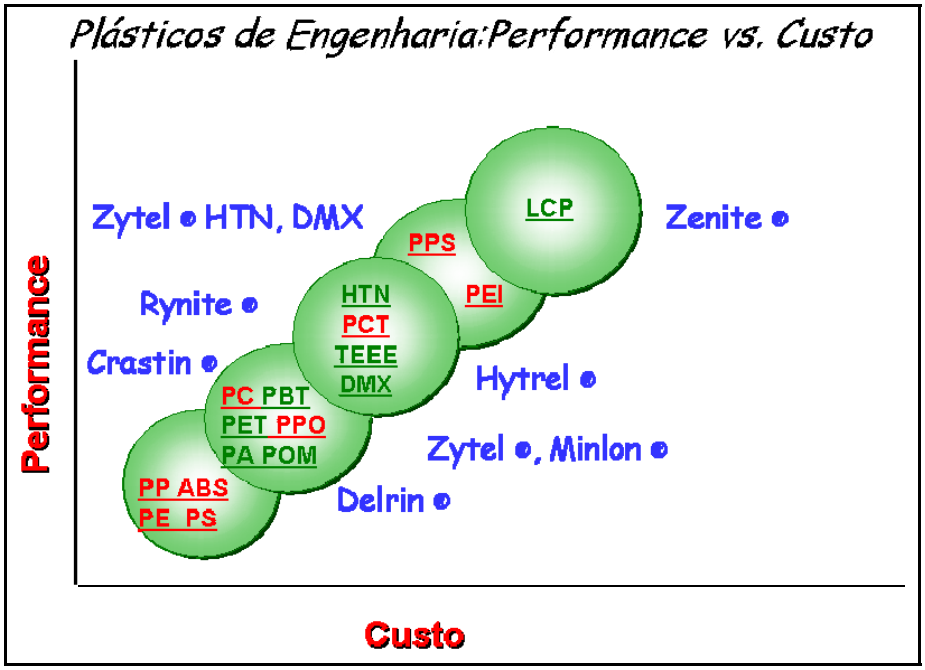


Gráfico 1 – Performance versus custo dos plásticos de engenharia
Fonte : Dupont®: DuPont Marca Registrada

Por este gráfico, fica claro que os plásticos conhecidos como de engenharia, tais como, o Policarbonato (PC), os Nylons (PA6 e 66), os Poliésteres (PBT e PET), o Poliacetal (POM Homo e Copolímeros), e o Poli-óxido-fenileno (PPO modificado), são plásticos que possuem atualmente uma relação performance contra custo, intermediária entre todos os plásticos, e por isso hoje tão importantes no segmento de veículos populares, já que deixaram de ser proibitivos quanto aos preços por quilo. Mesmo assim, ainda custam muito mais que os chamados plásticos

de uso geral, e desta forma, mesmo entre os de sua classe, possuem ligeiras diferenças de custos, que nunca são desprezadas pelos engenheiros e projetistas automotivos.

Assim, para efeito deste trabalho, a variável econômica sempre permeará a seleção de plásticos de engenharia, excetuando-se os casos onde apenas características técnicas e de relevância funcional forem fundamentais.

3.5 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 plásticos (mostrados através de Tabelas de Propriedades 1 a 8, e com performances avaliadas e pontuadas de 5 a 1 – forte e fraco desempenho, respectivamente) proporcionará alguns exemplos de uma seleção de plásticos, que serão tratados neste trabalho.

Uma legenda de Desempenho e Respectiva Pontuação por Resistência (Tabela 13), será utilizada para todas as tabelas de pontuação de propriedades mostradas neste trabalho.

Posto desta maneira, o primeiro plástico a ser comentado é o Polipropileno (PP - homopolímero carregado com 40% de Talco), possuindo melhores características que sua versão sem carga, e que apresenta as características intrínsecas conforme a tabela mostrada adiante (Tabela 14)

Tabela 13 – Legenda de Desempenho e Respectiva Pontuação por Resistência

Forte:	**Bom:**	**Médio/Regular:**	**Modesto:**	**Fraco:**
5 Pontos	4 Pontos	3 Pontos	2 Pontos	1 Ponto

Tabela 14 – Propriedades do Plástico: Polipropileno Carregado com 40% de Carga Mineral

Propriedades	**Desempenho**	**Pontuação**
Absorção de umidade	Bom	4
Resistência a intempéries	Modesto	2
Resistência química	Modesto	2
Módulo flexão (rigidez)	Modesto	2
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Médio	3
Resistência à tração	Modesto	2
Alongamento na ruptura	Modesto	2
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Fraco	1
Dureza Rockwell M	Modesto	2
Resistência à abrasão	Modesto	2
Coeficiente de atrito	Modesto	2
Controle de contração na moldagem	Modesto	2
Coeficiente de expansão térmica	Modesto	2
Temperatura de deflexão ao calor	Modesto	2
Temperatura de uso contínuo	Média	3
Índice de temperatura UL	Modesto	2
Ponto de Fusão	Médio	3
Densidade	Bom	4

continua

conclusão

Constante dielétrica	Modesto	2
Resistividade volumétrica	Modesto	2
UL 94	Modesto	2
Transparência	Fraco	1
Custo relativo	Forte	5

A resistência a solventes do polipropileno carregado é regular, mas apresenta excelente resistência à maioria dos produtos químicos de PH intermediários (5 a 9) excelente, sendo considerado regular em termos de módulos de rigidez e apresentando boa resistência ao impacto. Sua resistência à tração é pobre, assim como sua resistência à fluência. Sua contração é boa e a temperatura de deflexão ao calor é considerada muito baixa, limitando seu campo de aplicações em peças ou componentes de engenharia. Seu baixo custo, no entanto, o viabiliza para usos na indústria automobilística, em áreas que apresentem temperaturas mais baixas (interiores e exteriores), e uma baixa solicitação de carga (esforço mecânico).

Comentando-se agora o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), apesar de estar na fronteira dos plásticos de engenharia em termos de tenacidade (expressa por sua intermediária resistência ao impacto à temperatura ambiente), é hoje encontrado em algumas aplicações automobilísticas, onde a resistência térmica não é fator importante (notadamente, em componentes externos pintados – o acabamento pintado é garantia de maior resistência aos raios Ultra-Violeta (UV)). Como é encontrado em muitos tipos, para este trabalho foi selecionada uma resina de média viscosidade, que apresenta as propriedades a seguir (Tabela 15).

Tabela 15 – Propriedades do Plástico: ABS de Média Viscosidade para Injeção

Propriedades	**Desempenho**	**Pontuação**
Absorção de umidade	Médio	3
Resistência a intempéries	Modesto	2
Resistência química	Fraco	1
Módulo flexão (rigidez)	Modesto	2
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Médio	3
Resistência à tração	Modesto	2
Alongamento na ruptura	Modesto	2
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Fraco	1
Dureza Rockwell M	Médio	3
Resistência à abrasão	Fraco	1
Coeficiente de atrito	Fraco	1
Controle de contração na moldagem	Médio	3
Coeficiente de expansão térmica	Médio	3
Temperatura de deflexão ao calor	Modesto	2
Temperatura de uso contínuo	Médio	3
Índice de temperatura UL	Modesto	2
Ponto de Fusão	Médio	3
Densidade	Bom	4
Constante dielétrica	Modesto	2
Resistividade volumétrica	Modesto	2
UL 94	Modesto	2
Transparência	Fraco	1
Custo relativo	Bom	4

O ABS de Média Viscosidade para Injeção apresenta de maneira geral, regular resistência a solventes, e resistência química geral ruim, bom módulo de flexão, sua tenacidade é excelente e sua resistência à fluência é boa. Porém, apresenta resistência à tração regular, assim como temperatura deflexão ao calor, especialmente, em relação ao ramo de plásticos de engenharia. Todavia, as duas últimas propriedades citadas, são superiores quando comparadas às do Polipropileno.

Por apresentar ainda uma boa relação custo/ densidade, o ABS, acaba especificado para a área automobilística, principalmente em grades pintadas de automóveis (peças relativamente grandes, por exemplo). Nestas aplicações, em geral a resistência a solventes e química e aos raios ultravioletas, ficam por conta da tinta que as revestem.

Os plásticos de engenharia, encontram nos Nylons, seus mais antigos representantes, e se tornaram conhecidos por seu balanço único de propriedades (Tabela 16).

Tabela 16 – Propriedades do Plástico: Nylon não Reforçado

Propriedades	**Desempenho**	**Pontuação**
Absorção de umidade	Modesto	2
Resistência a intempéries	Médio	3
Resistência química	Médio	3
Módulo flexão (rigidez)	Médio	3
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Bom	4
Resistência à tração	Bom	4
Alongamento na ruptura	Bom	4
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Médio	3
Dureza Rockwell M	Médio	3
Resistência à abrasão	Forte	5

continua

conclusão

Coeficiente de atrito	Médio	3
Controle de contração na moldagem	Modesto	2
Coeficiente de expansão térmica	Modesto	2
Temperatura de deflexão ao calor	Médio	3
Temperatura de uso contínuo	Médio	3
Índice de temperatura UL	Bom	4
Ponto de Fusão	Bom	4
Densidade	Médio	3
Constante dielétrica	Médio	3
Resistividade volumétrica	Médio	3
UL 94	Bom	4
Transparência	Modesto	2
Custo relativo	Médio	3

A razão de sua versatilidade e popularidade deve-se ainda à sua fabricação, em quase todas as regiões do mundo.

A resistência aos solventes, e a produtos químicos em geral, dos Nylons sem reforço, tornam estes plásticos adequados ao uso em peças ou componentes submetidos ao contato com os solventes, óleos e combustíveis, presentes na região do motor dos automóveis, por exemplo.

Estes Nylons apresentam módulos de flexão bons, tenacidades boas, tanto às baixas quanto altas temperaturas em diversos ambientes.

A resistência à tração desses Nylons, é excelente, e apresenta boa resistência à fluência.

Ainda apresentam regulares controles de contração na moldagem, e boa resistência à temperatura de deflexão ao calor, exibindo nesse termo, resistências iniciais da ordem de 90ºC.

O reforço com fibras de vidro melhoram as propriedades de flexão, resistência ao impacto e deflexão ao calor, para a maioria dos plásticos de engenharia (exceções são encontradas nos tipos

derivados dos policarbonatos). As propriedades intrínsecas destes materiais em suas composições com fibras de vidro e cargas minerais são listadas a seguir (Tabela 17).

Tabela 17 – Propriedades do Plástico: Nylon Reforçado com Fibra de Vidro / Nylon Carregado

Propriedades	**Nylon / Desempenho**		**Pontuação**
	Reforçado	**Com Carga**	
Absorção de umidade	Médio	Médio	3
Resistência a intempéries	Médio	Médio	3
Resistência química	Bom	Médio	4 / 3
Módulo flexão (rigidez)	Bom	Médio	4 / 3
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Bom	Médio	4 / 3
Resistência à tração	Forte	Médio	5 / 3
Alongamento na ruptura	Fraco	Modesto	1 / 2
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Bom	Médio	4 / 3
Dureza Rockwell M	Bom	Médio	4 / 3
Resistência à abrasão	Forte	Forte	5
Coeficiente de atrito	Modesto	Médio	2 / 3
Controle de contração na moldagem	Bom	Médio	4 / 3
Coeficiente de expansão térmica	Bom	Médio	4 / 3
Temperatura de deflexão ao calor	Bom	Médio	4 / 3
Temperatura de uso contínuo	Forte	Forte	5
Índice de temperatura UL	Bom	Médio	4 / 3
Ponto de Fusão	Bom	Bom	4
Densidade	Fraco	Modesto	1 / 2
Constante dielétrica	Médio	Médio	3
Resistividade volumétrica	Médio	Médio	3
UL 94	Bom	Bom	4
Transparência	Fraco	Fraco	1
Custo relativo	Fraco	Médio	2 / 3

O Nylon carregado com cargas minerais apresenta melhorias importantes na isotropia de contrações e propriedades (Tabela 17), dada a melhor homogeneidade da dispersão das cargas minerais e com custo reduzido, desta forma, provendo melhor estabilidade dimensional e menor empenamento. Porém, com um sacrifício de sua resistência ao impacto. Assim, desde painéis de instrumentos e conectores elétricos, até dispositivos importantes embutidos na região do motor, como capas das correias, coberturas de motor e do comando de válvulas, e ainda partes do sistema de arrefecimento-refrigeração, podem ser produzidos com esses materiais.

Os Poliacetais, por sua vez, se caracterizam por seu equilíbrio de propriedades entre metal e plásticos: são, na essência, os plásticos de engenharia que mais de assemelham aos metais moles (alumínio, cobre, berílio, etc).

Suas principais Propriedades estão classificadas a seguir (Tabela 18).

Tabela 18 – Propriedades do Plástico: Poliacetal

Propriedades	**Desempenho**	**Pontuação**
Absorção de umidade	Bom	4
Resistência a intempéries	Médio	3
Resistência química	Bom	4
Módulo flexão (rigidez)	Bom	4
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Médio	3
Resistência à tração	Bom	4
Alongamento na ruptura	Médio	3
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Bom	4
Dureza Rockwell M	Bom	4
Resistência à abrasão	Forte	5
Coeficiente de atrito	Forte	5

continua

conclusão

Controle de contração na moldagem	Modesto	2
Coeficiente de expansão térmica	Médio	3
Temperatura de deflexão ao calor	Médio	3
Temperatura de uso contínuo	Médio	3
Índice de temperatura UL	Médio	3
Ponto de Fusão	Médio	3
Densidade	Modesto	2
Constante dielétrica	Médio	3
Resistividade volumétrica	Médio	3
UL 94	Fraco	1
Transparência	Fraco	1
Custo relativo	Modesto	2

O Poliacetal possui excelente resistência a solventes e resistência química geral, exceto a ácidos e bases muito forte, bom módulo de flexão, boa resistência ao impacto entre seus diferentes tipos, alta resistência à tração e boa fluência, médio controle de contração na moldagem e boa Tº de deflexão ao calor mesmo sem reforço, variando até 136ºC.

Devido à sua grande resistência à fadiga, lubrificação natural e resistência à corrosão, é amplamente usado em engrenagens, buchas, mancais e outras peças sujeitas a movimento e que necessitem de elevado desempenho quando submetidas a esforços de desgastes.

As aplicações de Poliacetal incluem engrenagens de limpador de pára-brisas, molas de pressão', grades de alto-falantes, sistemas de alimentação de combustível, 'encaixes sob-pressão' para fixação de laterais de portas, e etc.

Os plásticos de engenharia, chamados de Poliésteres Termoplásticos (PBT e PET), em combinação com reforços de fibra de vidro e cargas minerais, fazem parte dos plásticos de

engenharia que mais crescem em consumo no mundo, e que se desenvolveram inicialmente para substituir componentes eletrônicos, como alternativos aos plásticos chamados de termofixos (não possuem capacidade remoldagem), demonstrando produtividade muito superior. Hoje, devido à tendência do aumento do conceito de eletrônica embargada na indústria automobilística, essa família é considerada a mais promissora em termos de aumento de especificações junto às montadoras.

Devido principalmente a seu custo-benefício, isto é, preços médios aliados a suas excelentes propriedades dielétricas, e ainda exibindo uma estabilidade dimensional ímpar, esses plásticos apresentam as propriedades listadas a seguir (Tabela 19).

Tabela 19 – Propriedades dos Plásticos: Poliéster Híbrido

Propriedades	**Desempenho**	**Pontuação**
Absorção de umidade	Bom	4
Resistência a intempéries	Bom	4
Resistência química	Bom	4
Módulo flexão (rigidez)	Bom	4
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Médio	3
Resistência à tração	Forte	5
Alongamento na ruptura	Fraco	1
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Bom	4
Dureza Rockwell M	Médio	3
Resistência à abrasão	Bom	4
Coeficiente de atrito	Modesto	2
Controle de contração na moldagem	Bom	4
Coeficiente de expansão térmica	Bom	4

continua

conclusão

Temperatura de deflexão ao calor	Bom	4
Temperatura de uso contínuo	Forte	5
Índice de temperatura UL	Bom	4
Ponto de Fusão	Bom	4
Densidade	Fraco	1
Constante dielétrica	Bom	4
Resistividade volumétrica	Bom	4
UL 94	Modesto	2
Transparência	Fraco	1
Custo relativo	Modesto	2

As resistências dos poliésteres aos solventes e produtos químicos em geral são boas, o módulo de flexão é excelente e a boa resistência ao impacto dessa família de plásticos de engenharia é um fator importante na sua escolha, especialmente quando aliados a outras características, também consideradas 'acima da média', como por exemplo: excelente resistência à tração, boa resistência à fluência, e, portanto, produzindo peças e componentes resistentes à deformação. Além do mais, as suas temperaturas de deflexão ao calor são excelentes, podendo variar até 235ºC.

Suas aplicações na área automobilística estão mais concentradas em aplicações que demandam resistência dielétrica importantes, tais como conectores, isolantes de motores elétricos, caixas de fusíveis, bornes, etc., assim como peças que demandam resistências térmicas e mecânicas elevadas (parábolas e máscaras de faróis, carretéis de servos-freios, engrenagens de limpadores traseiros, e etc).

Já os poliésteres elastoméricos, apresentam características únicas de elasticidade, tornando-se úteis em aplicações antes destinadas às borrachas, cheias de limitações técnicas. Esses poliésteres

aliam características de termoplásticos e elastômeros, apresentando como destaque, as propriedades a seguir mencionadas (Tabela 20).

Tabela 20 – Propriedades do Plástico: Poliéster Elastomérico

Propriedades	**Desempenho**	**Pontuação**
Absorção de umidade	Bom	4
Resistência a intempéries	Bom	4
Resistência química	Bom	4
Módulo flexão (rigidez)	Fraco	1
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Forte	5
Resistência à tração	Modesto	2
Alongamento na ruptura	Forte	5
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Fraco	1
Dureza Rockwell M	Fraco	1
Resistência à abrasão	Forte	5
Coeficiente de atrito	Médio	3
Controle de contração na moldagem	Modesto	2
Coeficiente de expansão térmica	Modesto	2
Temperatura de deflexão ao calor	Modesto	2
Temperatura de uso contínuo	Bom	4
Índice de temperatura UL	Médio	3
Ponto de Fusão	Médio	3
Densidade	Modesto	2
Constante dielétrica	Bom	4
Resistividade volumétrica	Bom	4
UL 94	Modesto	2
Transparência	Fraco	1
Custo relativo	Fraco	1

Sendo imbatível no quesito de elasticidade, sob tração e a altas temperaturas, principalmente quando submetido a esforços de flexão freqüentes, sua vida útil é excelente. Suas características ganham destaque, especialmente a temperaturas negativas de até –40°C. Em verdade, não concorre com os plásticos de engenharia mais freqüentes, mas, conforme já mencionado, apresenta grande potencial na substituição de borrachas.

Suas excelentes resistências a solventes e a produtos químicos, módulo de rigidez regular (já que a flexibilidade é seu alvo principal), resistência ao impacto excelente, boa resistência à tração, fluência regular, bom controle na contração de moldagem, boa temperatura de deflexão ao calor e, apesar de seu custo ser considerado ruim, este poliéster termoplástico agrega um grande valor a várias aplicações automobilísticas (coifas de homo-cinéticas na suspensão, tampas de 'air-bags' no interior do automóvel e até como reforço interno de pneus blindados, e etc.).

O Policarbonato encontra sua zona de conforto na resistência ao impacto. Sua resistência à tração é boa a temperaturas medianas (90°C), apresentando modesta resistência a esforços de flexão freqüentes. Em verdade, se difere de outros plásticos amorfos (ABS, PVC e OS, por exemplo) por apresentar desempenho geral muito superior, abaixo, porém dos plásticos de engenharia de origem cristalina (como os Nylons, Poliacetais e Poliésteres), mas apresenta enorme potencial na substituição de vidro, devido a sua transparência única (Tabela 21).

Sua sofrível resistência aos solventes e aos produtos químicos, é um pouco equilibrada com uma bem melhor resistência à água quente. Seu módulo de rigidez é médio, sua resistência à fluência é boa, e exibe, ainda, um excelente comportamento na contração de moldagem, boa temperatura de deflexão ao calor e, apesar de seu custo ser considerado ruim, o Policarbonato fornece um valor inquestionável a várias aplicações automobilísticas especialmente em seus exteriores (lentes de faróis e lanternas, laterais, e até pára-brisas atualmente).

Tabela 21 – Propriedades do Plástico: Policarbonato

Propriedades	**Desempenho**	**Pontuação**
Absorção de umidade	Médio	3
Resistência a intempéries	Médio	3
Resistência química	Fraco	1
Módulo flexão (rigidez)	Médio	3
Resistência ao impacto Izod (tenacidade)	Forte	5
Resistência à tração	Médio	3
Alongamento na ruptura	Bom	4
Resistência à fluência (‘Creep’ - deformação)	Médio	3
Dureza Rockwell M	Médio	3
Resistência à abrasão	Fraco	1
Coeficiente de atrito	Médio	3
Controle de contração na moldagem	Bom	4
Coeficiente de expansão térmica	Forte	5
Temperatura de deflexão ao calor	Médio	3
Temperatura de uso contínuo	Bom	4
Índice de temperatura UL	Médio	3
Ponto de Fusão	Bom	4
Densidade	Modesto	2
Constante dielétrica	Médio	3
Resistividade volumétrica	Médio	3
UL 94	Bom	4
Transparência	Forte	5
Custo relativo	Modesto	2

Agora que se tem um quadro representativo de plásticos de engenharia (exceção ao PP e ao ABS, tomados aqui como contra-pontos devido a suas freqüentes presenças em especificações das montadoras de automóveis), pode-se estabelecer um critério básico de comparação.

Durante o processo de seleção, é importante não se ater à onipresença dos custos peculiares dos diferentes materiais (preços de mercado) apenas, já que por mais simples que sejam as aplicações, os preços de materiais serão referenciais, não devendo ser tomados como fatores primeiros e absolutos. Importam, em última instância, os custos resultantes das melhorias de desempenho mecânico e de processos.

Outros fatores ainda, como "design" dos componentes (desenho para obtenção da peça – por exemplo, como a homogeneização de paredes, o local do ponto de injeção e seu dimensionamento no molde, a construção adequada de canais de alimentação secundários, e a diminuição de paredes) podem influenciar muito mais positivamente, nos custos finais dos componentes ou peças.

Em outras palavras, ocorre que, freqüentemente, uma peça pode ser constituinte de um conjunto mais complexo, e necessita atender a um particular requisito de grande responsabilidade mecânica para a aplicação, de modo que tal necessidade justifique um aumento do custo inicial do produto pela adoção de um plástico de engenharia mais caro que os plásticos de uso geral, mas que atenda a tal solicitação.

Daí se infere a fragilidade de um critério de seleção de plásticos de engenharia, que apenas se baseie no custo por kg de determinado produto.

A comparação por custo relativo (maciçamente empregada, especialmente nas engenharias das montadoras e sistemistas e sub-sistemistas, ou de nacionalização e redução de custos), apesar de sua importância na definição de projetos, não poder ser considerada o elemento inicial e fundamental no processo de seleção para substituir um componente metálico, por exemplo.

Toma-se a propósito, o caso de uma engrenagem acopladora do limpador de pára-brisas, que tradicionalmente era usinada em aço inoxidável. O plástico de engenharia recomendado foi um Poliacetal aditivado com 3% de pó de Teflon, e propiciou uma melhora significativa em seu

desempenho operacional, pela eliminação de contaminação por óleo lubrificante ao conjunto do motor do limpador de pára-brisas (função: Resistir ao Atrito e Suportar Desgaste), diminuindo sensivelmente o barulho provocado pela fricção entre os metais (função: Minimizar Ruído), e prolongando a vida útil deste sistema de engrenagens por anos de uso (função: Suportar Cargas). Este tipo especial de Poliacetal, com certeza possui custo relativo por kg, de 50% a 70% mais elevado que outros Poliacetais tradicionais, e a outros plásticos de engenharia, entretanto o custo benefício obtido foi amplamente justificado. E as propriedades respectivas às funções selecionadas foram: Coeficiente de Atrito, Resistência à Abrasão, Alongamento na Ruptura, e finalmente Resistência à Fluência.

Outro exemplo seria a necessidade por uma peça de maior resistência geral (um pára-choque), que deveria demandar um plástico de engenharia (por exemplo, uma blenda PBT/PC) mais caro que o convencional (PP Copolimérico), mas que resistisse melhor a impactos leves também sob baixas temperaturas (função: Suportar Choques Mecânicos) e que agregam mais valor aos consumidores das cidades grandes, que vivem sofrendo com o infortúnio de pequenos choques frontais e traseiros, no dia-a-dia do trânsito destas cidades, ainda que tivessem que pagar mais por esta conveniência. Neste caso a propriedade correlata seria, a Resistência ao Impacto à temperatura ambiente e sob baixas temperaturas.

Destacam-se ainda, as buscas por 'designs' mais arrojados, como os encontrados nas novas lentes de faróis e suas máscaras metalizadas – que melhoram a aparência superficial (cujas funções: Prover Beleza e Facilitar Cromação relacionam-se com as propriedades de Resistência à Oxidação, e Maior Ponto de Fusão) de um sistema que no passado era apenas projetado para atender uma função principal – Prover Luminosidade. Hoje, estes componentes são muito mais caros que os antigos modelos, porém se tornaram objeto de desejo de todo consumidor, que decidi a compra pela beleza, mesmo pagando mais por esta característica ou função.

Sumarizando, antes de tudo, é necessário determinar as funções operacionais e correlacioná-las às propriedades e características que realmente impactam o desempenho do componente ou peça. . Chegando-se ao candidato mais adequado, pela computação dos resultados de pontuação e ponderação dos pesos porcentuais relativos à importância de funções e propriedades (imediatas e de uso contínuo) aplicadas às diferentes regiões do veículo. A partir da escolha feita, podem-se agora considerar os custos peculiares por kg desses plásticos.

Insistindo uma vez mais, seria inadequado selecionar-se qualquer material plástico na indústria automobilística tomando-se exclusivamente o custo, ou uma propriedade intrínseca, ou uma função, separadamente.

Faz-se, desta maneira necessário determinar as funções derivadas do ambiente de operação dos componentes em estudo, e comparar-se com as várias propriedades imediatas e de uso contínuo, tomadas junto aos fabricantes de plásticos, ou provenientes de testes de confiabilidade realizados pelos responsáveis dos componentes, sendo o custo por kg do material, considerado na última etapa.

3.6 Método de Pontuação, 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 ambientes, deverão ser pensadas em primeiro lugar, para em seguida relacioná-las às propriedades imediatas ou de uso contínuo, mais adequadas, conforme Tabelas 9 a 12, do Capítulo 3.3. A Tabela 22, por exemplo, explicita o processo proposto.

Tabela 22 – Exemplo de tabela: Funções e propriedades para componentes em áreas exteriores do automóvel

Principais Funções do Produto (Componentes Exteriores)	Propriedades Relacionadas às Funções do Produto
1- Prover Estabilidade Dimensional	Baixas: Absorção de Umidade e Contração, Resistência à Fluência.
2- Resistir ao Estiramento, Prover Encaixes (sob pressão)	Altas: Resistência à Tração e Resistência à Fluência (na tração).
3- Suportar Vibrações / Choques Mecânicos	Altos Impactos Izod e Charpy
4- Prover Rigidez, Suportar Montagem	Alto Módulo de Flexão, Baixo Coeficiente de Dilatação Térmica
5- Suportar Cargas	Altas: Resistência 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 aos Solventes
9- Facilitar Soldagem, Metalização, Cromação	Alto Ponto de Fusão
10- Prover Ótimo Aspecto Superficial, e Prover Beleza	Alta Resistência a Intempéries / Oxidação
11- Prover Leveza (Economia de Combustível e Menor Desgaste do Conjunto Suspensão), Reduzir Custos	Menor Densidade, Menor Custo Relativo

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 (trabalho necessário para romper o corpo de prova, abaixo da curva tensão deformação num ensaio de tração na ruptura).

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 conseqüência ocorre perda nos torques das montagens.

O critério assumido para avaliação da performance de propriedades dos diferentes plásticos de engenharia tratados neste trabalho (Tabela 23), 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), conforme demonstra a tabela a seguir.

Tabela 23 – Principais propriedades dos plásticos de engenharia selecionados

Principais Propriedades	Nylon sem Reforço	Nylon Reforçado	Nylon Carregado	Poliacetal	Poliéster Híbrido	Policarbo-nato	ABS Média Visco-sidade	Poli-propileno Carregado	Poliéster Elasto-mérico
Baixa Absorção de Umidade	2	3	3	4	4	3	3	4	4
Alta Resistência a Intempéries	3	3	3	3	4	3	2	2	4
Alta Resistência Química	3	4	3	4	4	1	1	2	3
Alto Módulo de Flexão	3	4	3	4	4	3	2	2	1
Alto Impacto Izod	4	4	3	3	3	5	3	3	5
Alta Resistência à Tração	4	5	3	4	5	3	2	2	2
Alto Alongamento na Ruptura	4	1	2	3	1	4	2	2	5
Alta Resistência à Fluência	3	4	3	4	4	3	1	1	1
Alta Dureza (Rockwell)	3	4	3	4	3	3	3	2	1
Alta Resistência à Abrasão	5	5	5	5	4	1	1	2	5
Baixo Coeficiente de Atrito	3	2	3	5	2	3	1	2	3
Baixa Contração da Moldagem	2	4	3	2	4	4	3	2	2
Baixo Coeficiente de Expansão Térmica (altas temperaturas)	2	4	3	3	4	5	3	2	2
Alta Temperatura de Deflexão ao Calor	3	4	3	3	4	3	2	2	2
Temperatura de Uso Contínuo	3	5	5	3	5	4	3	3	4
Alto Índice de Temperatura UL	4	4	3	3	4	3	2	2	3
Alto Ponto de Fusão	4	4	4	3	4	4	3	3	3
Menor Densidade	3	1	2	2	1	2	4	4	2
Constante Dielétrica	3	3	3	3	4	3	2	2	4
Resistividade Volumétrica	3	3	3	3	4	3	2	2	4
UL 94	4	4	4	1	2	4	2	2	2
Transparência	2	1	1	1	1	5	1	1	1
Menor Custo Relativo	3	2	3	2	2	2	4	5	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 (Tabela 24). 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, conforme já ilustrado na Tabela 8 anteriormente mostrada e que aparece também a seguir, para facilitar uma rápida consulta.

Tabela 24 – Resistência a Solventes e a Produtos Químicos em Geral (reprodução da Tabela 8)

Material	Álcool	Aldeído	Aromá-ticos	Gaso-lina	Ceto-nas	Água Quente	Óleos/ Graxas	Água Salgada	Pontos Totais	Resistência Química Geral
Poliacetal	3	3	3	3	3	2	3	3	23	5
Nylon sem Reforço	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
Nylon Reforçado	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
Nylon Carregado	3	3	3	3	3	1	2	3	21	5
Poliéster Híbrido	3	1	2	3	2	1	3	3	18	4
Poliéster Elastomérico	3	1	2	3	2	1	3	3	18	4
Polipropileno Carregado	1	3	1	2	1	1	1	3	13	2
ABS Média Viscosidade	2	1	1	1	1	1	1	3	11	1
Policarbonato	2	1	1	1	1	1	1	3	11	1

Pontuação dos materiais plásticos em relação aos produtos químicos:
1 – Afetado
2 – Ligeiramente Afetado
3 – Não Afetado

Resistência Química Geral (Componentes Automotivos)
Avaliação do Desempenho de Acordo com a Pontuação Obtida:

+ de 18 pontos:	5 (Forte)
De 16 a 18 pontos:	4 (Bom)
De 13 a 15 pontos:	3 (Regular)
De 12 a 14 pontos:	2 (Modesto)
– de 12 pontos:	1 (Fraco)

Fonte: Plásticos de Engenharia – S.Paulo – 2005

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, conforme demonstrado na próxima tabela (Tabela 25).

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 pelos profissionais dos maiores fabricantes de polímeros e nos catálogos de plásticos de engenharia disponíveis nos sítios da Internet, alguns, a saber:

- www.2.dupont.com/automotive/en_US/index.htm;
- www.geplastics.com/en/industrial/automotive.htm;
- www.ticona.com/index/markets/auto.htm;
- www.rhodia.ep.com/index/markets/auto.htm;
- www2.basf.de.

Tabela 25 – Principais funções dos plásticos de engenharia selecionados

Principais Funções	Nylon sem Reforço	Nylon Refor-çado	Nylon Carre-gado	Poli-acetal	Poliéster Híbrido	Poli-carbo-nato	ABS Média Visco-sidade	Poli-propileno Carregado	Poliéster Elasto-mérico
Facilitar Metalização, Cromação e Soldagem	3	2	3	2	4	3	4	2	2
Manter Propriedades ao Calor	3	3	3	4	4	5	1	3	4
Prover Beleza	3	3	2	4	4	5	3	2	3
Prover Estabilidade	2	3	4	3	4	4	4	3	4
Prover Flexibilidade / Minimizar Ruído	4	1	2	2	1	4	2	2	5
Prover Isolamento Elétrico	3	3	3	3	4	3	2	2	4
Prover Leveza	3	2	2	2	2	2	4	4	2
Prover Ótimo Aspecto Superficial	4	3	4	3	4	4	1	2	3
Prover Rigidez	3	4	3	4	4	3	2	3	2
Reduzir Custos	3	2	2	2	2	2	4	4	1
Resistir ao atrito	3	2	3	4	3	3	2	2	3
Resistir ao Estiramento	3	4	2	4	3	3	2	2	2
Resistir aos Combustíveis e Óleos	4	4	4	4	4	1	1	2	3
Resistir aos Detergentes / Solventes	3	4	3	4	4	1	1	2	3
Resistir a Riscos	3	4	3	4	3	3	2	2	1
Suportar Cargas	3	4	3	3	4	2	1	1	1
Suportar Montagem	3	4	3	4	4	3	2	3	2
Suportar Vibrações / Choques Mecânicos	4	4	3	3	3	4	2	3	5
Resistir a Chamas	3	3	3	1	2	3	2	2	2
Suportar Cargas ao Calor	3	4	3	3	4	3	1	2	2
Previnir Fissuras	3	3	3	3	4	3	2	2	4
Prover Transparência	2	1	1	1	1	5	1	1	1

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 26).

Tabela 26 – 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	**Considerações Estruturais:** Componente semiflexível, e de forma irregular e assimétrica. **Considerações de Desenho:** espessuras heterogêneas, presença de furos para passagem de parafusos e re-entrâncias diversas. **Considerações de Processamento:** 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	**Aparência:** componente semi-externo (entretanto sem necessidade de polimento), sem pintura e ou decoração (impressão, colagem, etc). **Aspecto Superficial:** componente dever ter superfície lisa. **Transparência:** Ausência de transparência, e cor preta.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir custo por quilo. **Ecológicos:** Produtos devem ser reciclados. **Redução de Peso (prover leveza):** Muito desejável.

É importante salientar que foram definidas quatro macro-áreas de um veículo popular, nas quais estão os componentes mais presentes nos estudos de redução de custos das engenharias, nas indústrias automotivas brasileiras. Estas áreas são : a região exterior, o habitáculo do motor, o habitáculo interior e os componentes das regiões eletro-automotivas.

A premissa básica que sustenta estes pesos concedidos às funções e propriedades (imediatas e de uso contínuo), diz respeito ao conhecimento prévio que o engenheiro e / ou projetista, devem ter do ambiente de operação do componente a ser estudado (Tabela 26, Item 1.: Ambiente). Através deste conhecimento, o profissional consultará a tabela das funções mais importantes para a região do veículo sob análise (ver Tabela 9 a 12, e Tabela 22), onde também encontrará as propriedades correlatas a estas funções.

Superado esta fase, retorna-se à Tabela 26, de qualificação das necessidades do componente, e então o profissional atribuirá no Item 2, pesos (em %) de acordo com a relevância das funções operacionais escolhidas (4 a 7 funções são escolhidas em geral) para aquela região do veículo sob análise (região a que o componente se destina). Tais pesos deverão somar , entre todas as funções, sempre 100% .

E o mesmo procedimento, deverá ser adotado no caso das propriedades (Tabela 26, Item 3).

Ainda na tabela de qualificação de necessidades do componente , o foco é transferido agora para as outros aspectos envolvidos no estudo. Então o profissional responsável pelo componente informa os outros conhecimentos que possui sobre o componente, no que concerne às considerações estruturais, de desenho e de processamento (ver Tabela 26 – Item 4), também sobre a aparência, aspecto superficial ou transparência (Tabela 26, Item 5), e ainda sobre os aspectos econômicos, ecológicos ou redução de peso (Tabela 26, Item 6).

Outra oportunidade aqui vislumbrada foi a possibilidade de se trabalhar com as quantidades em kg estimadas de plásticos de engenharia para uma determinada região do veículo, como uma

medida da utilização e viabilidade econômica, isto é, quanto maior o consumo por veículo, maior o envolvimento técnico e comercial por parte dos participantes da cadeia produtiva (produtores de plásticos, fabricantes de máquinas e ferramentas, moldadores, sub-sistemistas, sistemistas e utilizadores finais), o que pode se tornar uma vantagem competitiva, obviamente, se os requisitos de funções operacionais e propriedades (imediatas e de uso contínuo) foram atendidos (ver a seguir: Tabela 27).

Tabela 27 – Estimativa de consumo atual por carro em kg *

Estimativa de Consumo Atual de Plásticos de Engenharia por Carro (em Kg)				
Plástico de Engenharia	**Áreas**			
	Exteriores	**Habitáculo do Motor**	**Interiores**	**Eletro-Automotiva**
Nylon sem Reforço	0,3	0,8	0,5	0,5
Nylon Reforçado	2,0	6,0	1,0	0,5
Nylon Carregado	0,3	2,5	0,5	0,5
Poliacetal	0,5	0,3	3,0	0,3
Poliéster Híbrido	0,5	1,0	0,5	0,5
Policarbonato	3,0	0,1	0,3	0,5
ABS Média Viscosidade	1,0	0,1	1,0	0,1
Polipropileno Carregado	3,0	3,0	5,0	0,5
Poliéster Elastomérico	0,1	0,1	0,5	0,1

* Estimado

Assim, apenas como ilustração, para um carro popular moderno, o consumo em de Nylon Reforçado com fibras de vidro no habitáculo do motor alcançaria aproximadamente 6 kg (se incluído o módulo frontal – não presente em todos os carros populares - chegaria a 8 kg).

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.

4 MATRIZ ELETRÔNICA DE SELEÇÃO DE PLÁSTICOS DE ENGENHARIA

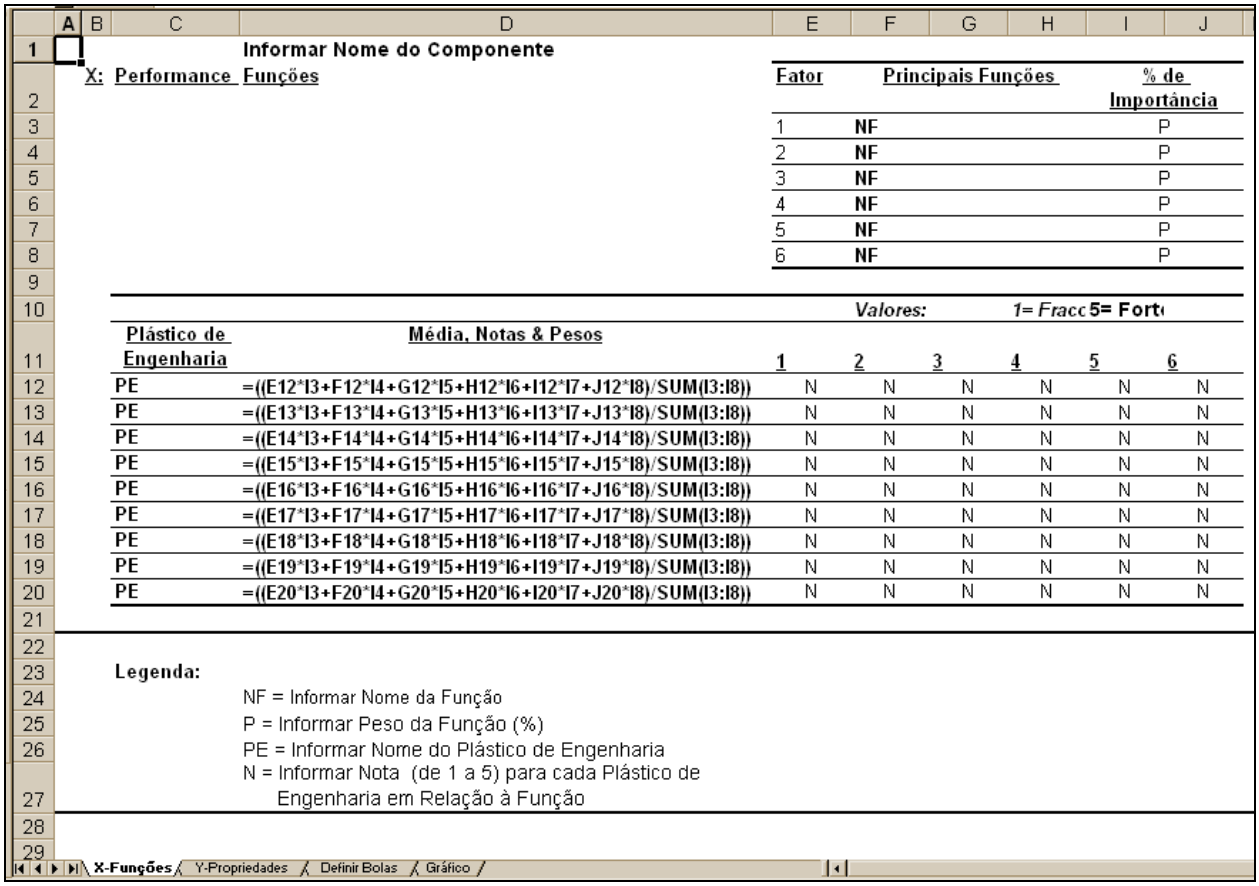
4.1. Descritivo para a Construção da Matriz Eletrônica (via Excel)

Os campos e o preenchimento devem ser feitos com bases nos títulos e siglas apresentados (ver Tabela 28).

Tabela 28 – Definições do eixo "X" – Funções Operacionais

Linha/Coluna	Definição
1D	Inserir o nome do componente
2C	Inserir título da planilha: Performance – Funções
2E a 2J	Títulos dos dados a inserir: Fator; Principais Funções; % de Importância
3E a 8E	Incluir a ordem seqüencial dos fatores
3F a 8F	Incluir as funções consideradas para o componente
3I a 8I	Informar o peso de cada função incluída
12C a 20C	Incluir os nomes dos plásticos de engenharia
12D a 20D	Incluir fórmula para cálculo das médias: 12D: =((E12*I3+F12*I4+G12*I5+H12*I6+I12*I7+J12*I8)/SUM (I3:I8)) 13D: =((E13*I3+F13*I4+G13*I5+H13*I6+I13*I7+J13*I8)/SUM (I3:I8)) ...e assim por diante.
12E a 20J	Incluir pontuação dos plásticos em relação às funções operacionais.

Para a utilização da Planilha Eletrônica de Excel, e geração do gráfico final, optou-se por dispor as funções mais importantes do componente, parte ou peça em estudo, no eixo das abscissas (eixo X), com mostrada na figura a seguir (Figura 21):



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				**Informar Nome do Componente**						
2		**X:**	**Performance**	**Funções**	**Fator**	**Principais Funções**				**% de Importância**
3					1	**NF**				P
4					2	**NF**				P
5					3	**NF**				P
6					4	**NF**				P
7					5	**NF**				P
8					6	**NF**				P
9										
10						*Valores:*		*1= Fracc*	**5= Fort**	
11			**Plástico de Engenharia**	**Média, Notas & Pesos**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
12			PE	=((E12*I3+F12*I4+G12*I5+H12*I6+I12*I7+J12*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
13			PE	=((E13*I3+F13*I4+G13*I5+H13*I6+I13*I7+J13*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
14			PE	=((E14*I3+F14*I4+G14*I5+H14*I6+I14*I7+J14*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
15			PE	=((E15*I3+F15*I4+G15*I5+H15*I6+I15*I7+J15*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
16			PE	=((E16*I3+F16*I4+G16*I5+H16*I6+I16*I7+J16*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
17			PE	=((E17*I3+F17*I4+G17*I5+H17*I6+I17*I7+J17*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
18			PE	=((E18*I3+F18*I4+G18*I5+H18*I6+I18*I7+J18*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
19			PE	=((E19*I3+F19*I4+G19*I5+H19*I6+I19*I7+J19*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
20			PE	=((E20*I3+F20*I4+G20*I5+H20*I6+I20*I7+J20*I8)/SUM(I3:I8))	N	N	N	N	N	N
21										
22										
23			**Legenda:**							
24				NF = Informar Nome da Função						
25				P = Informar Peso da Função (%)						
26				PE = Informar Nome do Plástico de Engenharia						
27				N = Informar Nota (de 1 a 5) para cada Plástico de Engenharia em Relação à Função						
28										
29										

X-Funções / Y-Propriedades / Definir Bolas / Gráfico

Figura 21 – Tela de Excel para definição do Eixo “X” – Funções

Para elaboração da planilha do Eixo “Y” – Propriedades, proceder de maneira análoga à planilha do Eixo “X” – Funções, conforme figura a seguir (Figura 22):

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1				**Informar Nome do Componente**							
2		**Y:**	**Performance -**	**Propriedades**	**Fator**	**Principais Propriedades**				**% de Importância**	
3					1	**NP**				P	
4					2	**NP**				P	
5					3	**NP**				P	
6					4	**NP**				P	
7					5	**NP**				P	
8					6	**NP**				P	
9											
10					***Valores:***		***1= Fraco***		**5= Forte**		
11			**Plástico de Engenharia**	**Média, Notas & Pesos**	**=E3**	**=E4**	**=E5**	**=E6**	**=E7**	**=E8**	
12			**PE**	**=((E12*I3+F12*I4+G12*I5+H12*I6+I12*I7+J12*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
13			**PE**	**=((E13*I3+F13*I4+G13*I5+H13*I6+I13*I7+J13*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
14			**PE**	**=((E14*I3+F14*I4+G14*I5+H14*I6+I14*I7+J14*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
15			**PE**	**=((E15*I3+F15*I4+G15*I5+H15*I6+I15*I7+J15*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
16			**PE**	**=((E16*I3+F16*I4+G16*I5+H16*I6+I16*I7+J16*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
17			**PE**	**=((E17*I3+F17*I4+G17*I5+H17*I6+I17*I7+J17*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
18			**PE**	**=((E18*I3+F18*I4+G18*I5+H18*I6+I18*I7+J18*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
19			**PE**	**=((E19*I3+F19*I4+G19*I5+H19*I6+I19*I7+J19*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
20			**PE**	**=((E20*I3+F20*I4+G20*I5+H20*I6+I20*I7+J20*I8)/SUM(I3:I8))**	N	N	N	N	N	N	
21											
22											
23			**Legenda:**								
24				NP = Informar Nome da Propriedade							
25				P = Informar Peso da Propriedade (%)							
26				PE = Informar Nome do Plástico de Engenharia							
27				N = Informar Nota (de 1 a 5) para cada Plástico de Engenharia em Relação à Propriedade							
28											

X-Funções | **Y-Propriedades** | Definir Bolas | Gráfico

Figura 22 – Tela de Excel para definição do Eixo “Y” – Propriedades Operacionais

Antes da elaboração do gráfico de bolas, gerado pela planilha de Excel, definiu-se a construção de uma tela resumo (Figura 23), com o sumário de informações das telas anteriores de Funções (eixo X) e Propriedades (eixo Y). Conforme os passos da tabela seguinte (Tabela 29).

Tabela 29 – Definições para o gráfico de bolas

Linha/Coluna	Definição
B3 a B11	Incluir fórmula para auto-preenchimento das funções: B3: ='X-Funções'!C12 ... e assim por diante.
C3 a C11	Incluir o volume estimado do material plástico por área do veículo
D2 e E2	Fórmulas para responder às perguntas das células B14 e B15: =C14 e =C15 e conseqüente inclusão dos títulos das colunas
D3 a D11 e E3 a E11	Fórmulas para inclusão automática das médias obtidas nas planilhas dos eixos "X" e "Y", respectivamente: ='X-Funções'!D12 ='Y-Propriedades'!D12 ... e assim por diante.

	A	B	C	D	E	F
1						
		Plástico de Engenharia	**Volume Atual (kg)**			
2				**=C14**	**=C15**	
3		**='X-Funções'!C12**	**VA**	='X-Funções'!D12	='Y-Propriedades'!D12	
4		**='X-Funções'!C13**	**VA**	='X-Funções'!D13	='Y-Propriedades'!D13	
5		**='X-Funções'!C14**	**VA**	='X-Funções'!D14	='Y-Propriedades'!D14	
6		**='X-Funções'!C15**	**VA**	='X-Funções'!D15	='Y-Propriedades'!D15	
7		**='X-Funções'!C16**	**VA**	='X-Funções'!D16	='Y-Propriedades'!D16	
8		**='X-Funções'!C17**	**VA**	='X-Funções'!D17	='Y-Propriedades'!D17	
9		**='X-Funções'!C18**	**VA**	='X-Funções'!D18	='Y-Propriedades'!D18	
10		**='X-Funções'!C19**	**VA**	='X-Funções'!D19	='Y-Propriedades'!D19	
11		**='X-Funções'!C20**	**VA**	='X-Funções'!D20	='Y-Propriedades'!D20	
12						
13		**Qual o título do Gráfico de Bolas ?**	Seleção de Plásticos de Engenharia - **NC**			
14		**Qual o nome do eixo X?**	Performance - Funções			
15		**Qual o nome do eixo Y?**	Performance - Propriedades			
16		**O que determina o tamanho da Bola ?**	Volume Estimado no Carro (Kg)			
17						
18						
19		**Legenda:**				
20		VA = Informar Volume Atual em Kg (estimado por área do veículo)				
21		NC = Informar Nome do Componente				
22						
23						

X-Funções | Y-Propriedades | **Definir Bolas** | Gráfico

Figura 23 – Planilha de definição do gráfico de bolas

Na seqüência, passa-se à construção do gráfico de bolas, conforme demonstrado nas Figuras 24,25,26,27,28,29,30,31 que seguem.

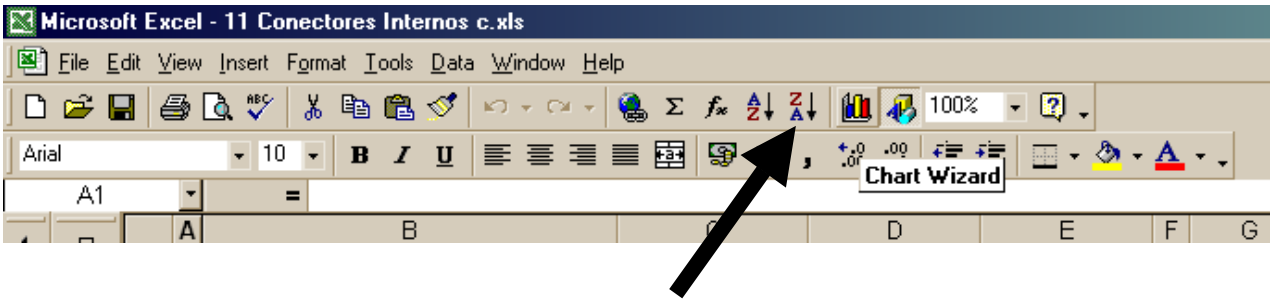


Figura 24 – Botão para criação do gráfico de bolas

Pressionar o botão “Incluir Gráfico” ou “Chart Wizard”.

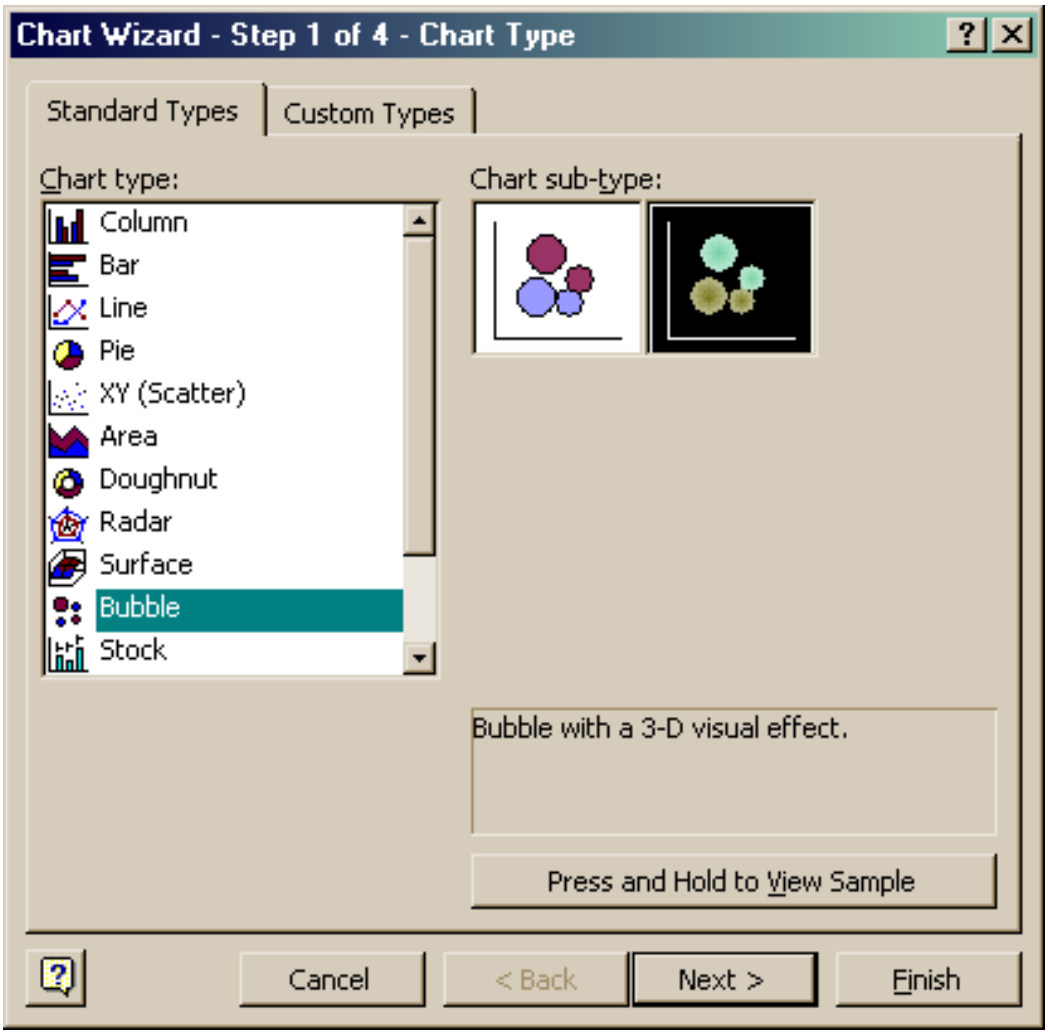


Figura 25 – Definição do tipo de gráfico

Selecionar o Gráfico de Bolhas e pressionar “Próximo” ou “Next”.

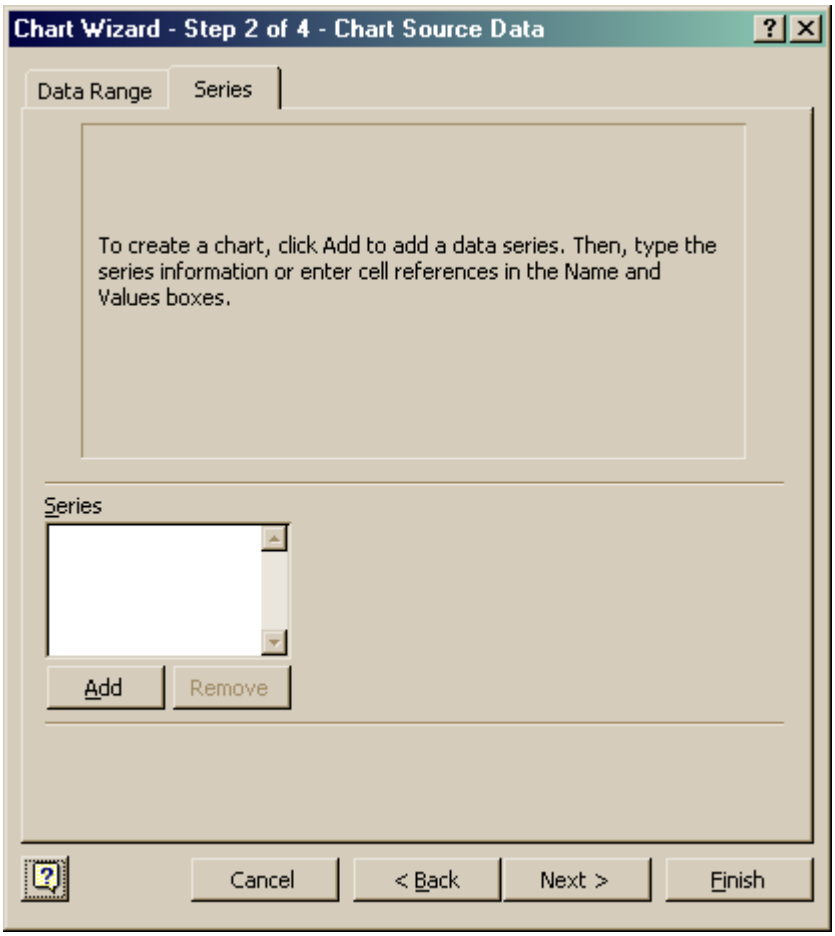


Figura 26 – Inclusão dos dados das bolas

Na janela “Séries”, pressionar “Adicionar” ou “Add”.

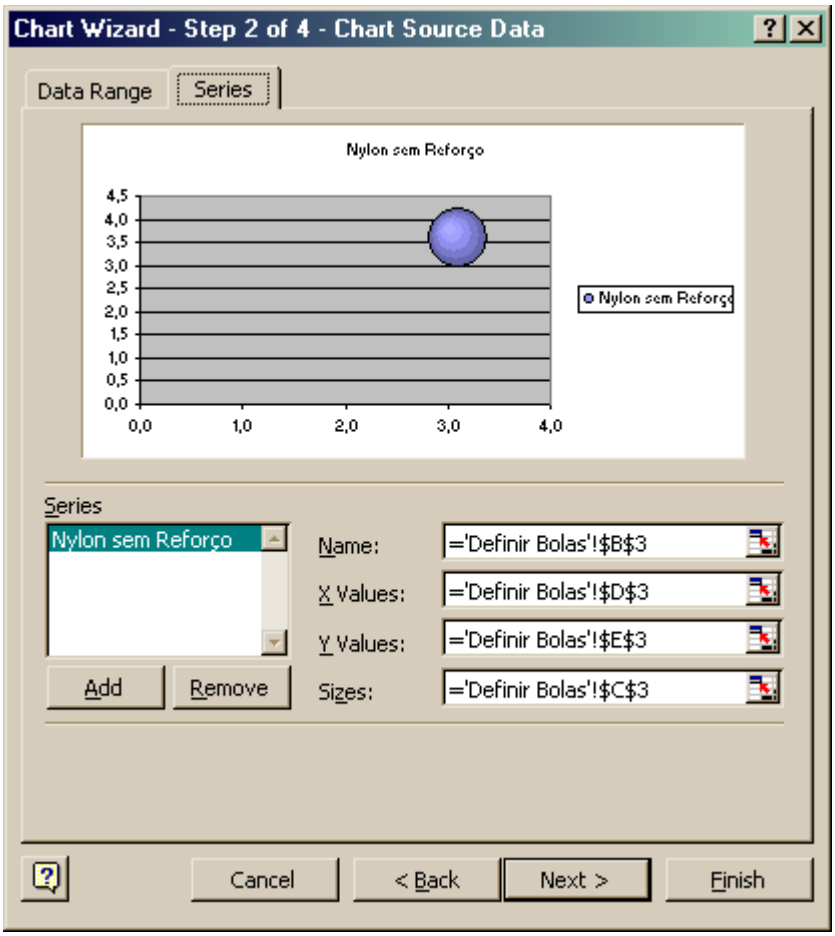


Figura 27 – Inclusão dos dados das bolas

Adicionar de acordo com o solicitado, com os dados da Planilha Resumo:

“Nome” ou “Name” = Selecionar a célula correspondente ao Nome do Plástico de Engenharia;

“Valores X” ou “X Values” = Selecionar a célula correspondente à Média da Função para o Plástico de Engenharia definido;

“Valores Y” ou “Y Values” = Selecionar a célula correspondente à Média da Propriedade para o Plástico de Engenharia definido;

“Tamanhos” ou “Sizes” = Selecionar a célula correspondente ao Volume Atual (Kg) para o Plástico de Engenharia definido.

Repetir a operação acima até completar com todos os dados da Planilha Resumo.

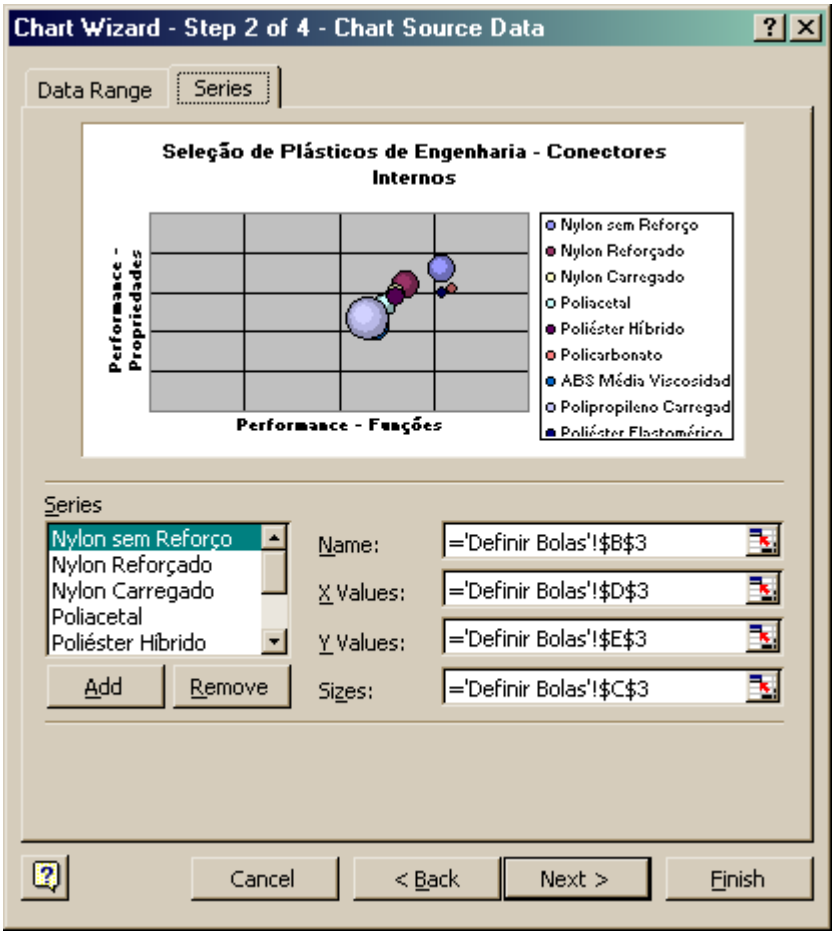


Figura 28 – Exemplo de inclusões de dados para o gráfico de bolas

Após todas as inclusões, pressione “Próximo” ou “Next”.

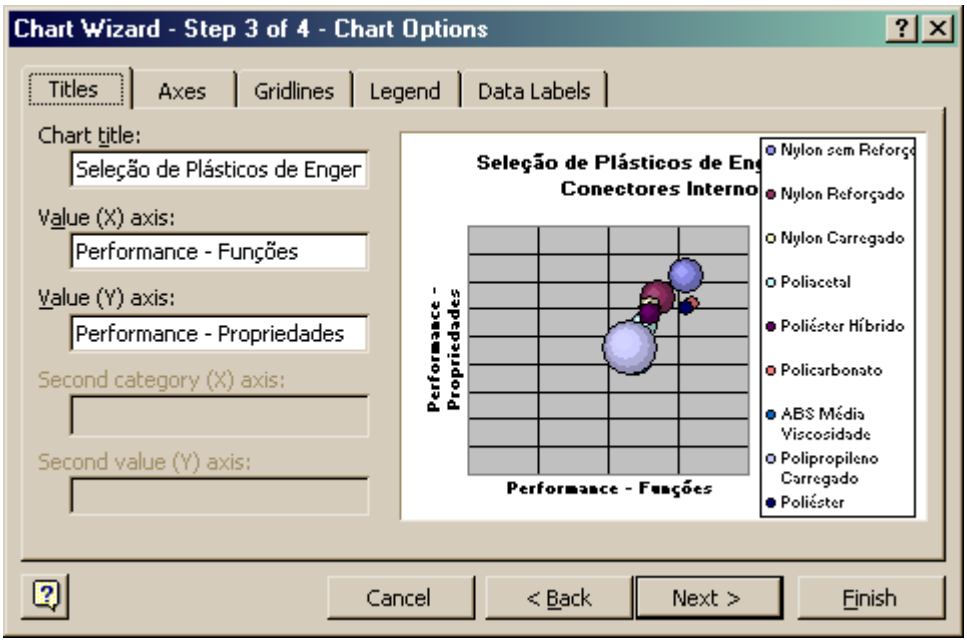


Figura 29 – Definições de títulos do gráfico de bolas

Defina os títulos:

“Título do Gráfico” ou “Chart Title” = Informe: Seleção de Plásticos de Engenharia – Nome do Componente;

“Valor do Eixo (X)” ou “Value (X) axis” = Inclua: Performance – Funções;

“Valor do Eixo (Y)” ou “Value (Y) axis” = Inclua: Performance – Propriedades.

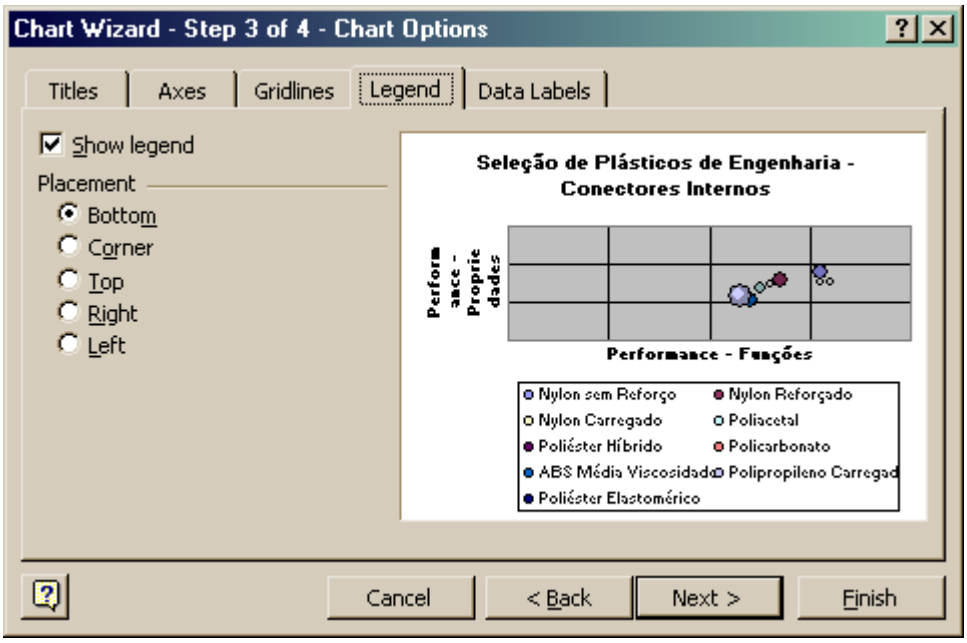


Figura 30 – Definição dos formatos principais do gráfico de bolas

Selecionar as opções desejadas em cada uma das janelas, a saber:

“Eixos” ou “Axes": selecionar não mostrar valores;

“Linhas de Grade” ou “Gridlines”: selecionar “Principais” ou “Majors”;

“Legenda” ou “Legend”: selecionar “Mostrar legenda” ou “Show legend” e “Embaixo” ou “Bottom”;

“Rótulos dos Dados” ou “Data Labels”: selecionar “Nenhum” ou “None”.

Pressionar “Próximo” ou “Next”.

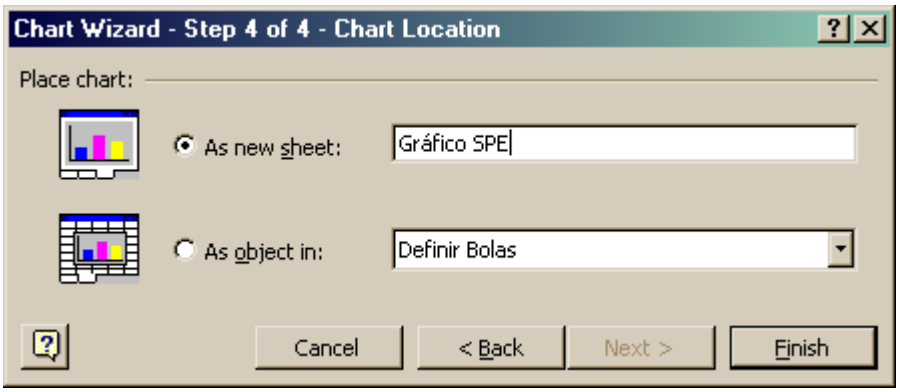


Figura 31 – Definir o local de inclusão do gráfico de bolas

Selecionar onde incluir o gráfico, pressionando “Nova planilha” ou “As new sheet” e nomear o Gráfico. Pressionar “Terminar” ou “Finish” (Figura 31).

Ainda é possível melhorar a visualização do gráfico, através da formatação da escala utilizada, e tamanhos das letras, conforme exemplo a seguir (Figura 32).

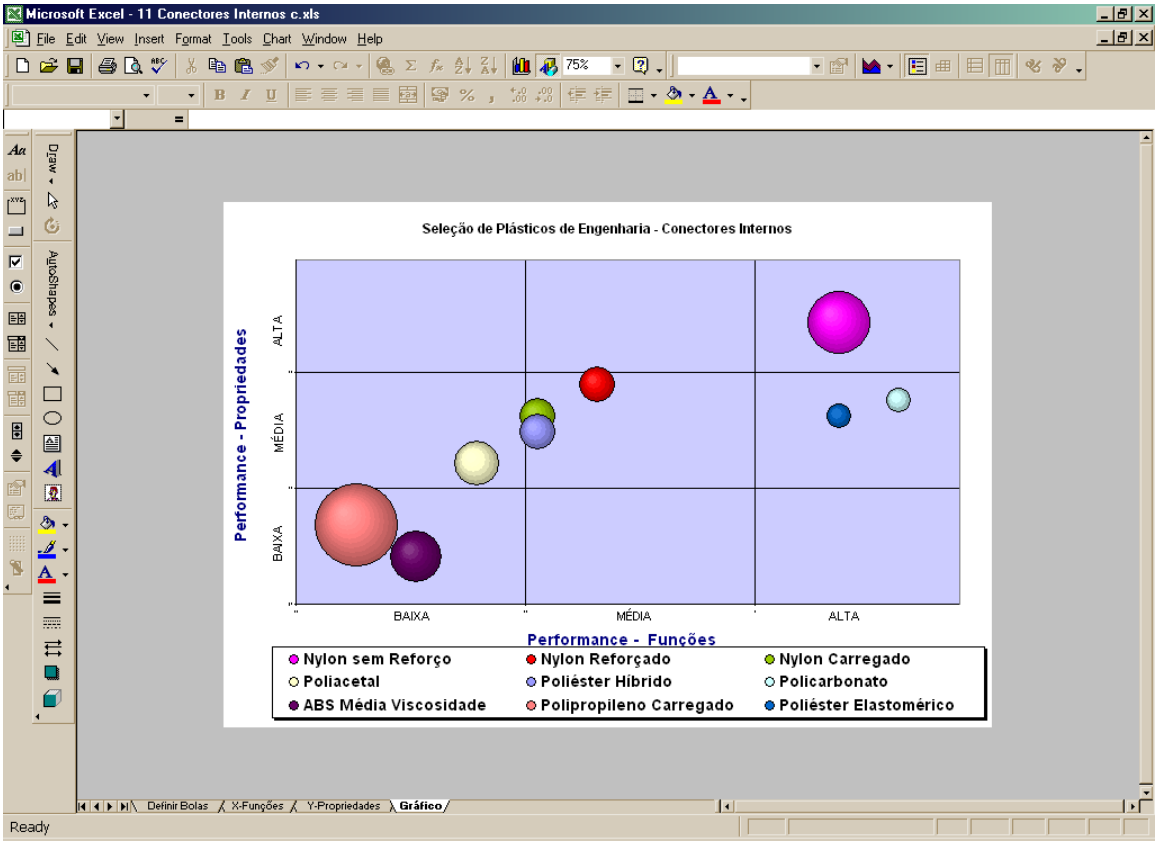


Figura 32 – Exemplo de gráfico de bolas.

5 SIMULAÇÕES, RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, são abordados os processos de simulações, os resultados e a discussão dos mesmos, com ênfase inicial, na experimentação da metodologia de seleção de plásticos de engenharia proposta contrapondo-a, às escolhas finais de componentes automotivos existentes em plástico, e numa segunda fase, contrapondo-a a um caso de componente conceitual, ou seja, não existente em plástico, já que originalmente trata-se de um componente metálico (portanto passível de ser substituído num carro popular).

Como parte deste procedimento, foram escolhidos doze casos de componentes das quatro áreas do automóvel consideradas neste trabalho, a saber: externas, habitáculo do motor, habitáculo interno, e eletro-automotivas. A descrição da metodologia é bastante enfatizada em dois componentes especialmente, na base da portinhola do tanque de combustível (aplicação da área externa) e na galeria de combustível (aplicação do habitáculo do motor). Isto porque, através de suas análises (áreas mais constantes, no que concerne à substituição de metais por plásticos de engenharia) é possível seguir-se o método como um todo, para as demais simulações. Dos doze casos tomados, onze se referem a componentes já existentes em plásticos, desta maneira fácil, e imediatamente comparáveis com os resultados das simulações processadas. Um único caso foi tomado como conceitual, ou não existente em plástico, mas com similar metálico, com o objetivo de demonstrar a eficiência da metodologia proposta : a capa da engrenagem de transmissão, por isso mesmo, tratada na última simulação deste capítulo.

5.1 Simulações de Aplicações na Área Externa de um Veículo Popular

Dos doze casos analisados, cinco simulações foram realizadas em componentes existentes da área externa do veículo. Isto devido a sua diversidade de materiais e necessidades técnicas, passando por plásticos de engenharia tão diferentes entre si, como os Nylons, os Poliésteres (polímeros de origem cristalina e opacos) e o Policarbonato (polímero de origem amorfa, e em geral transparentes).

Os componentes externos, aqui escolhidos são, a saber: a base da portinhola do tanque de combustível, o conjunto do farol (formado por lente e máscara/moldura), a haste do limpador de pára-brisas e finalmente a base do espelho lateral.

5.1.1 Base da Portinhola do Tanque de Combustível

Figura 33 – Base da portinhola do tanque de combustível

Conforme a Figura 33, o componente trata-se da base da portinhola do tanque de combustível, sendo considerado uma aplicação de uso externo já que, parte dele fica exposta e, quando a portinhola é aberta, torna-se totalmente aparente. Com o objetivo de verificar qual plástico de engenharia seria a melhor alternativa para sua obtenção, desenha-se uma tabela para estabelecer as necessidades da base da portinhola (Tabela 30).

Tabela 30 – Necessidades do componente: Base da portinhola do tanque 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	**Considerações Estruturais:** Componente semiflexível, e de forma irregular e assimétrica. **Considerações de Desenho:** espessuras heterogêneas, presença de furos para passagem de parafusos e re-entrâncias diversas. **Considerações de Processamento:** 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	**Aparência:** componente semi-externo (entretanto sem necessidade de polimento), sem pintura e ou decoração (impressão, colagem, etc). **Aspecto Superficial:** componente dever ter superfície lisa. **Transparência:** Ausência de transparência, e cor preta.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir custo por quilo. **Ecológicos:** Produtos devem ser reciclados. **Redução de Peso (prover leveza):** Muito desejável.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Nylon 66 sem reforço.
8. Material selecionado na prática	Nylon 6 ou 66 sem reforço.

Analisando-se o ambiente (item 1 dessa tabela) em que trabalharia (neste caso a área externa), as principais funções (item 2 da tabela) e propriedades (item 3 da tabela), com seus respectivos pesos ou percentuais de importância para a área do carro a qual, o componente se destinará (pesos que são definidos pelo engenheiro de produto ou projetista com o auxílio das Tabelas 09 a 12: relação entre funções e propriedades para áreas exteriores neste caso). Neste momento, ainda se processa, um apanhado de considerações estruturais, de desenho, processamento (item 4 da tabela), além de aspectos ligados à aparência e aspecto superficial ou transparência e cor (exemplificados no item 5 da tabela). Também os fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso (item 6 da tabela), deste modo, enfim se explicitando a família e o tipo de plástico de engenharia sugerido pelo método (item 7 da tabela), e o plástico selecionado na prática (item 08 da mesma tabela), completando-se assim a tabela de necessidades deste componente (a base da portinhola do tanque de combustível, aqui descrita). De posse destas informações, é agora possível alimentar-se as planilhas ou telas eletrônicas criadas, uma em seqüência à outra.

Inicialmente, parte-se para o estudo da performance das funções (Tabela 31):

Tabela 31 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Base da Portinhola do Tanque de Combustível

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Prover Flexibilidade**	30%
2	**Resistir a Comb. e Óleos**	30%
3	**Suportar Vibr. / Ch. Mec.**	10%
4	**Suportar Montagem**	10%
5	**Prover Leveza**	10%
6	**Reduzir Custos**	10%

Valores: 1= Fraco 5= Forte

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	**3,7**	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,7**	1,0	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Nylon Carregado	**2,8**	2,0	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0
Poliacetal	**2,9**	2,0	4,0	3,0	4,0	2,0	2,0
Poliéster Híbrido	**2,6**	1,0	4,0	3,0	4,0	2,0	2,0
Policarbonato	**2,6**	4,0	1,0	4,0	3,0	2,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,1**	2,0	1,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,6**	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**3,4**	5,0	3,0	5,0	2,0	2,0	1,0

Assim deve-se: I - preencher a lista das funções – tomando-se como referência, a relação entre funções e propriedades presentes na área exterior do carro (caso da base da portinhola em estudo), constantes da Tabela 9 ou tomá-las diretamente do item 2 da Tabela 30 (onde já se encontram listadas), e de acordo com a relevância dessas funções na visão do profissional automotivo, lhes atribuir os pesos ou percentuais de importância em ordem decrescente (perfazendo 100%, no total – conforme item 2 da Tabela 30); II - listar-se os plásticos de engenharia considerados na seleção, e lhes atribuir as notas relativas – cada plástico e sua nota correspondente à função (uso da Tabela 25 – principais funções dos plásticos de engenharia) que serão ponderadas pelo percentual de importância ou peso sugerido pelo engenheiro (a nota será multiplicada pelo percentual de importância atribuída às funções).

Tabela 32 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Base da Portinhola do Tanque de Combustível

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alto Alongamento Ruptura**	30%
2	**Alta Resistência Química**	30%
3	**Alto Impacto Izod**	10%
4	**Alto Módulo de Flexão**	10%
5	**Menor Densidade**	10%
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	**3,4**	4,0	3,0	4,0	3,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,6**	1,0	4,0	4,0	4,0	1,0	2,0
Nylon Carregado	**2,6**	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	3,0
Poliacetal	**3,2**	3,0	4,0	3,0	4,0	2,0	2,0
Poliéster Híbrido	**2,5**	1,0	4,0	3,0	4,0	1,0	2,0
Policarbonato	**2,7**	4,0	1,0	5,0	3,0	2,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,2**	2,0	1,0	3,0	2,0	4,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,6**	2,0	2,0	3,0	2,0	4,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**3,3**	5,0	3,0	5,0	1,0	2,0	1,0

Segue-se agora, com estudo da performance das propriedades (Tabela 32), e assim se deve: I - preencher as propriedades relativas às funções constantes nesta tabela (utilizar-se como apoio a Tabela 9) ou tomá-las diretamente do item 3 da Tabela 30 (onde já se encontram listadas), e lhes atribuir pesos ou percentuais de importância, similares aos usados para as funções presentes na Tabela 31 (podendo, ainda ser iguais, pouco maiores ou pouco menores que aqueles, utilizados nas suas funções correlatas, desde que se mantenha os 100% de soma dos percentuais, exigidos); II - listar-se os plásticos de engenharia considerados na seleção (mesma ordem obedecida na Tabela 31), e lhes atribuir as notas relativas – cada plástico e sua nota correspondente à propriedade (uso da Tabela 23 – principais propriedades dos plásticos de engenharia), que serão ponderadas pelo percentual de importância ou peso sugerido pelo engenheiro automotivo (a nota será multiplicada, pelo percentual de importância atribuído às propriedades).

Na seqüência, a Tabela 33, mostrará o resumo do que foi obtido nas planilhas ou telas anteriores, que será gerado automaticamente.

Tabela 33 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Atual (kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,3**	3,7	3,4
Nylon Reforçado	**2,0**	2,7	2,6
Nylon Carregado	**0,3**	2,8	2,6
Poliacetal	**0,5**	2,9	3,2
Poliéster Híbrido	**0,5**	2,6	2,5
Policarbonato	**3,0**	2,6	2,7
ABS Média Viscosidade	**1,0**	2,1	2,2
Polipropileno Carregado	**3,0**	2,6	2,6
Poliéster Elastomérico	**0,1**	3,4	3,3

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Base da Portinhola do Tanque de Combustível
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)

Todavia, ainda necessitando um preenchimento adicional, no que se refere ao: Volume Estimado de Uso de cada plástico de engenharia na área do carro que se está avaliando (mesma seqüência de ordem da Tabela 31 e 32), e neste caso da base da portinhola, consideraremos as massas por plástico para aplicações exteriores, constantes na Tabela 27 – Estimativa de Consumo de Plástico, e que definirão os tamanhos das Bolas (cada uma associada a determinado plástico de engenharia) no gráfico; e ainda, preencher os campos do título do gráfico de bolas (neste caso, base da portinhola do tanque de combustível), o nome do eixo X (para todos os casos: Performance – Funções), o nome do eixo Y (para todos os casos : Performance – Propriedades).

Finalmente, considerando a boa utilização da ferramenta computadoriza de planilhas ou telas eletrônicas, o gráfico de bolas será automaticamente gerado. E, cada plástico de engenharia representado por sua 'Bola'específica será nele mostrado, sendo que aquele selecionado será, o que estiver posicionado mais ao topo do quadrante da direita. Neste caso da portinhola, a simulação propõe a família de Nylons, indicando um tipo 'sem reforço' (Gráfico 2). Na prática, a escolha também indicou a família de Nylons e um tipo 'sem reforço' (Nylon 6 ou 66 sem reforço), portanto comprovando a eficiência da metodologia proposta, para este componente (Tabelas 78 e 79).

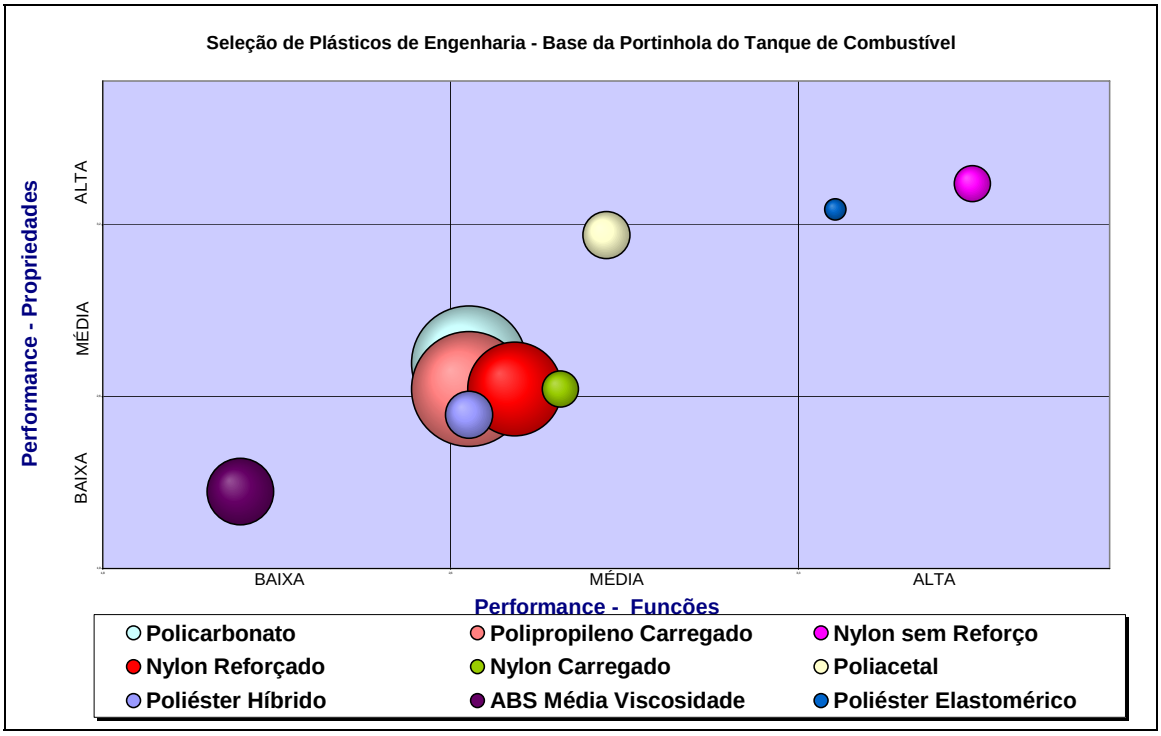


Gráfico 2 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base da Portinhola do Tanque de Combustível

5.1.2 Conjunto do Farol: Lente e Máscara da Moldura

Para o conjunto do farol (formado por componentes já existentes, Figura 34), procedeu-se uma separação entre o componente 'Lente' e o componente 'Máscara da Moldura', sendo suas simulações tratadas isoladamente. É evidente aqui, que tal aplicação é considerada como pertencente também à área exterior do carro.

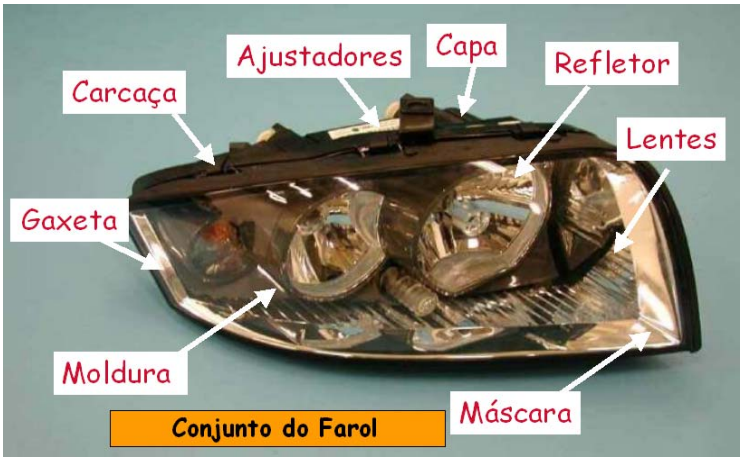


Figura 34 – Conjunto do Farol

5.1.2.1 Lente do Conjunto do Farol

Para o componente em questão (lente do farol – Figura 34), foi aplicada a mesma metodologia de seleção de plástico de engenharia utilizada para a base da portinhola. Desta vez, entretanto, devido à necessidade de atender à função de Prover Transparência, o Policarbonato, como único plástico de engenharia transparente neste trabalho, foi uma escolha óbvia, e o resultado que a metodologia sugere é idêntico, com o plástico escolhido na prática (Tabelas 34 a 37 e Gráfico 3).

Tabela 34 – Necessidades do componente: Lente do conjunto do farol

1.	Ambiente	Região externa, sujeita ao intemperismo, e soldada por ultra-som na carcaça do conjunto do farol.
2.	Principais funções	Prover Transparência (30%); Prover Beleza (20%); Suportar Vibrações e Choques Mecânicos (20%); Resistir aos Riscos (10%); Facilitar Soldagem (10%); Suportar Montagem (10%).
3.	Principais propriedades	Alta Transparência (30%); Alta Resistência às Intempéries (20%); Alta Resistência ao Impacto (20%); Dureza Superficial (10%); Alto Ponto de Fusão (10%); Baixo Custo Relativo (10%).
4.	Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** Componente de rígido, e de forma irregular e simétrico. **Considerações de Desenho:** Espessuras homogêneas, e planicidade no contato com a carcaça. **Considerações de Processamento:** As lentes devem ser injetadas em moldes com cavidades aquecidas (80 a 90°C), proporcionando brilho e evitando tensões superficiais.
5.	Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Componente externo, de aparência espelhada e sem pintura, podendo ter decoração (impressão, colagem, etc). **Aspecto Superficial:** Componente de superfície brilhante, não admitindo qualquer defeito superficial (manchas, riscos e etc). **Transparência:** Transparência próxima a 100%, e isenta de amarelamento.
6.	Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir preço por quilo, medianamente desejável. **Ecológicos:** Produtos devem ser reciclados. **Redução de Peso (prover leveza):** Muito desejável.
7.	Resultado obtido via Matriz de Decisão	Policarbonato (PC).
8.	Material selecionado na prática	Policarbonato (PC).

Tabela 35 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) –Lente do Conjunto do Farol – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Lente do Conjunto do Farol

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Prover Transparência**	30%
2	**Prover Beleza**	20%
3	**Suportar Vibr. e Ch. Mec.**	20%
4	**Resistir a Riscos**	10%
5	**Fac. Met./Crom./Soldagem**	10%
6	**Suportar Montagem**	10%

Valores: 1= Fraco 5= Forte

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	**2,7**	2,0	2,0	4,0	3,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,7**	1,0	3,0	4,0	4,0	2,0	4,0
Nylon Carregado	**2,2**	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Poliacetal	**2,7**	1,0	4,0	3,0	4,0	2,0	4,0
Poliéster Híbrido	**2,8**	1,0	4,0	3,0	3,0	4,0	4,0
Policarbonato	**4,2**	5,0	5,0	4,0	3,0	3,0	3,0
ABS Média Viscosidade	**2,1**	1,0	3,0	2,0	2,0	4,0	2,0
Polipropileno Carregado	**2,0**	1,0	2,0	3,0	2,0	2,0	3,0
Poliéster Elastomérico	**2,4**	1,0	3,0	5,0	1,0	2,0	2,0

Tabela 36 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Lente do Conjunto do Farol – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Lente do Conjunto do Farol

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Transparência**	30%
2	**Alta Res.a Intemp./X-test**	20%
3	**Alto Impacto Izod**	20%
4	**Alta Dureza Superficial**	10%
5	**Alto Ponto de Fusão**	10%
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**	2,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,7**	1,0	3,0	4,0	4,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**2,5**	1,0	3,0	3,0	3,0	4,0	3,0
Poliacetal	**2,4**	1,0	3,0	3,0	4,0	3,0	2,0
Poliéster Híbrido	**2,6**	1,0	4,0	3,0	3,0	4,0	2,0
Policarbonato	**4,0**	5,0	3,0	5,0	3,0	4,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,3**	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,3**	1,0	2,0	3,0	2,0	3,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**2,6**	1,0	4,0	5,0	1,0	3,0	1,0

Tabela 37 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Lente do Conjunto do Farol – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,3**	3,7	3,4
Nylon Reforçado	**2,0**	2,7	2,6
Nylon Carregado	**0,3**	2,8	2,6
Poliacetal	**0,5**	2,9	3,2
Poliéster Híbrido	**0,5**	2,6	2,5
Policarbonato	**3,0**	2,6	2,7
ABS Média Viscosidade	**1,0**	2,1	2,2
Polipropileno Carregado	**3,0**	2,6	2,6
Poliéster Elastomérico	**0,1**	3,4	3,3

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Base da Portinhola do Tanque de Combustível
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 na Área do Carro (kg)

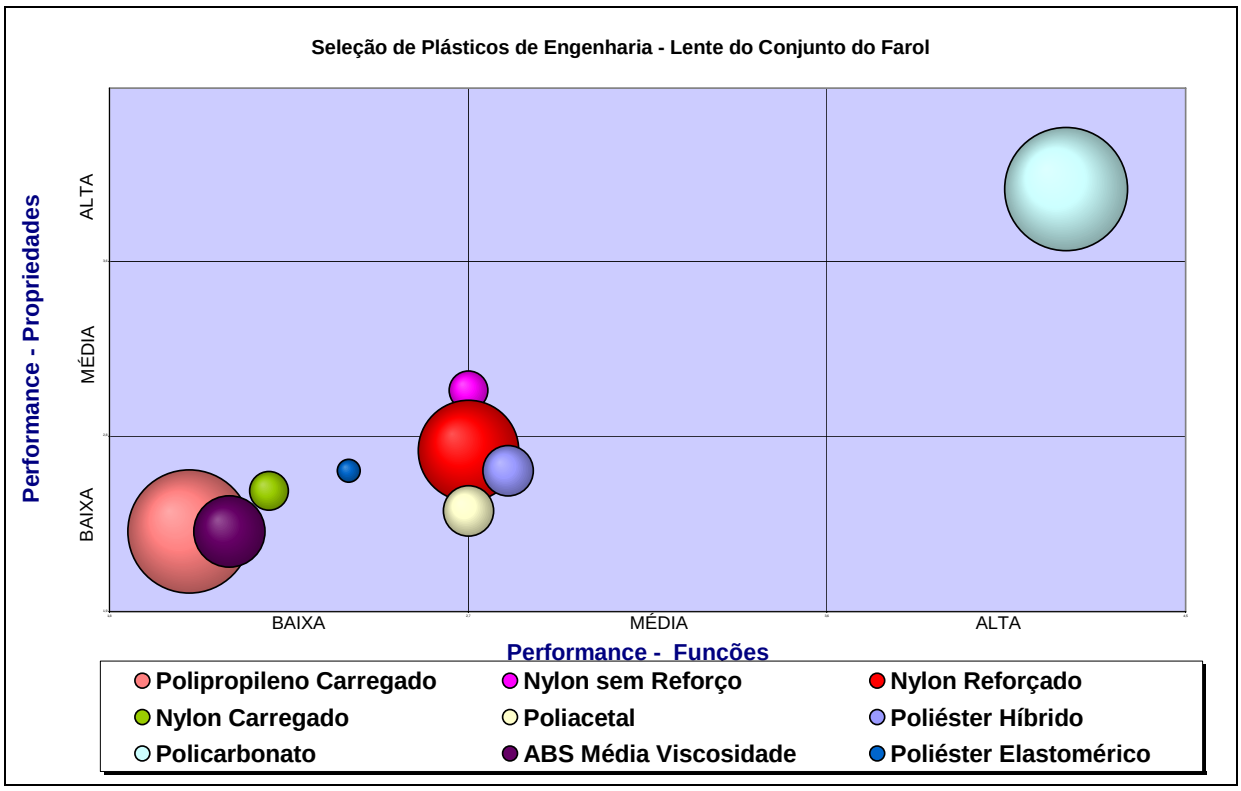


Gráfico 3 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Lente do Conjunto do Farol

5.1.2.2 Máscara da Moldura do Conjunto do Farol

Para a 'Máscara da Moldura' (Figura 34), segue-se procedimento análogo, considerando-se também seu caráter de componente externo, porém mais protegido, visto a sua cobertura pelo componente 'Lente'. O resultado obtido nesta análise, aponta a escolha de um poliéster híbrido (Tabela 38 a 41 e Gráfico 4). Na prática, entretanto apesar do resultado da simulação recomendar a mesma família (um poliéster), o tipo escolhido realmente, foi um poliéster de alto fluxo no processamento por injeção. Todavia, para efeito deste trabalho, seria impossível incluir todos os tipos da família dos poliésteres no processo de seleção aqui proposto. Se isto fosse factível, a inclusão desse tipo de poliéster de alto fluxo no processo seletivo, provavelmente levaria a

afirmar-se que na função ‘Facilitar Metalização’e ‘Prover Beleza’, este tipo de poliéster, obteria notas superiores ao poliéster híbrido, implicando a sua escolha como candidato mais adequado à aplicação.

Tabela 38 – Necessidades do componente: Máscara e moldura do conjunto do farol

1. Ambiente	Região semi-externa (lente protege de contato direto), com superfície metalizada e sujeita às intempéries, sendo soldada por ultra-som na carcaça do conjunto do farol, e submetida ao calor a 150°C quando acesos os faróis.
2. Principais funções	Facilitar Metalização e Soldagem e Resistir ao Calor (30%); Prover Beleza (25%); Manter Ap. Reduzir Custos (25%); Suportar Montagem (10%); Prover Leveza (10%).
3. Principais propriedades	Ponto de Fusão (30%); Resistência às Intempéries (25%); Alto Módulo de Flexão (25%); Menor Densidade (10%); Custo Relativo (10%).
4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** Componentes rígidos, e de formas irregulares e assimétricos. **Considerações de Desenho:** espessuras homogêneas, e planicidade no contato com a carcaça. **Considerações de Processamento:** os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (90 a 100°C), proporcionando brilho e planicidade.
5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Componente semi-externo de aparência espelhada, podendo ter decoração (impressão, colagem, pintura etc), e enfatizando a beleza dos componentes. **Aspecto Superficial:** Componente de superfície brilhante, isento de defeito superficial (manchas, riscos e etc). **Transparência:** Componentes Opacos.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir preço, por quilo e custos relacionados à metalização (eliminação de ‘primer’, p.ex). **Ecológicos:** Produtos devem ser reciclados. **Redução de Peso (Prover Leveza):** Muito desejável.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Poliéster Híbrido.
8. Material selecionado na prática	Poliéster Alto-Fluxo.

Tabela 39 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Máscara e Moldura do Conjunto do Farol

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Fac. Metal./Crom./Sold.**	30%
2	**Prover Beleza**	25%
3	**Suportar Montagem**	25%
4	**Prover Leveza**	10%
5	**Reduzir Custos**	10%

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5
		Valores:	*1= Fraco 5= Forte*			
Nylon sem Reforço	**3,0**	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,8**	2,0	3,0	4,0	2,0	2,0
Nylon Carregado	**2,6**	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0
Poliacetal	**3,0**	2,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,6**	4,0	4,0	4,0	2,0	2,0
Policarbonato	**3,3**	3,0	5,0	3,0	2,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**3,3**	4,0	3,0	2,0	4,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,7**	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**2,2**	2,0	3,0	2,0	2,0	1,0

Tabela 40 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Máscara e Moldura do Conjunto do Farol

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alto Ponto de Fusão**	30%
2	**Alta Res. a Intemp./X-test**	25%
3	**Alto Módulo de Flexão**	25%
4	**Menor Densidade**	10%
5	**Menor Custo Relativo**	10%

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5
		Valores:	*1= Fraco 5= Forte*			
Nylon sem Reforço	**3,3**	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,3**	4,0	3,0	4,0	1,0	2,0
Nylon Carregado	**3,2**	4,0	3,0	3,0	2,0	3,0
Poliacetal	**3,1**	3,0	3,0	4,0	2,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,5**	4,0	4,0	4,0	1,0	2,0
Policarbonato	**3,1**	4,0	3,0	3,0	2,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,7**	3,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,8**	3,0	2,0	2,0	4,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**2,5**	3,0	4,0	1,0	2,0	1,0

Tabela 41 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,3**	3,0	3,3
Nylon Reforçado	**2,0**	2,8	3,3
Nylon Carregado	**0,3**	2,6	3,2
Poliacetal	**0,5**	3,0	3,1
Poliéster Híbrido	**0,5**	3,6	3,5
Policarbonato	**3,0**	3,3	3,1
ABS Média Viscosidade	**1,0**	3,3	2,7
Polipropileno Carregado	**3,0**	2,7	2,8
Poliéster Elastomérico	**0,1**	2,2	2,5

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Máscara e Moldura do Conjunto do Farol
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 na Área do Carro (kg)

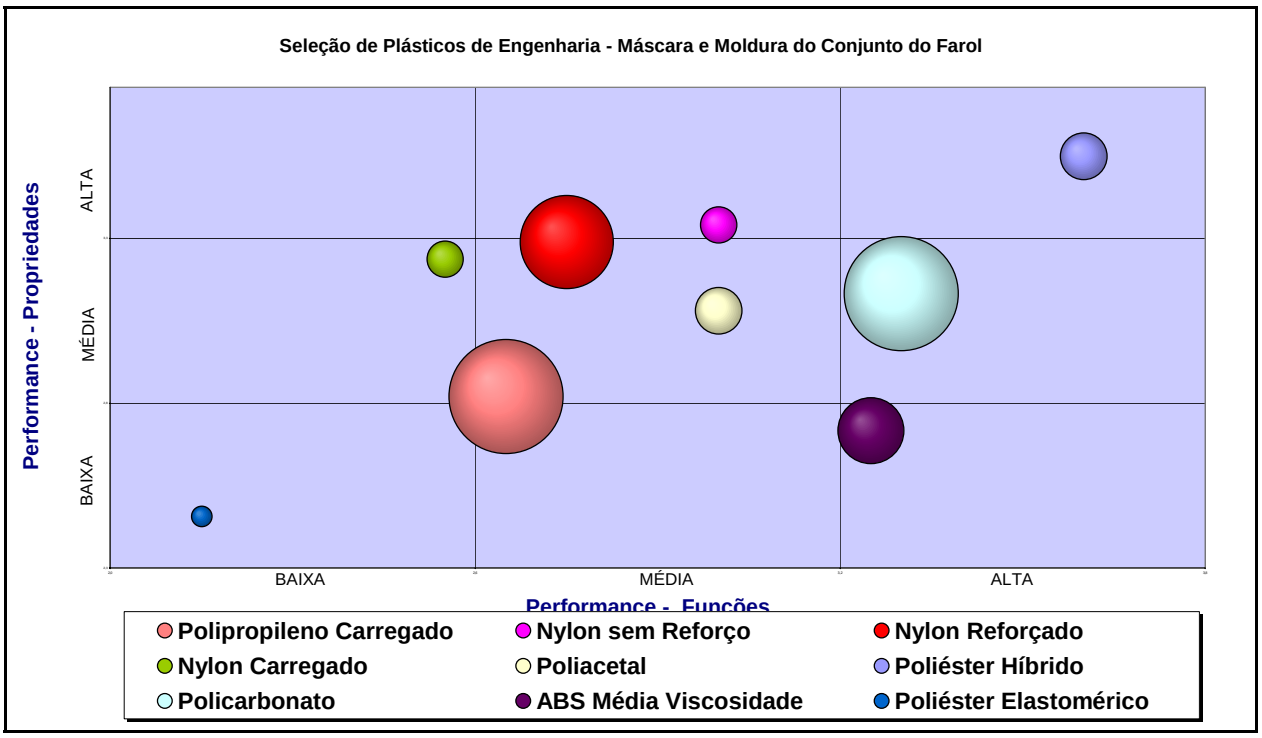


Gráfico 4 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Máscara e Moldura do Conjunto do Farol

5.1.3 Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro

A haste do limpador de pára-brisas traseiro, também é uma componente existente e de caráter externo (Figura 35).

Novamente, em se aplicando a metodologia de seleção proposta, observa-se que o resultado converge para uma família de poliésteres, do tipo híbrido, o mesmo plástico de engenharia selecionado na prática (Tabelas 42 a 45, e Gráfico 5).

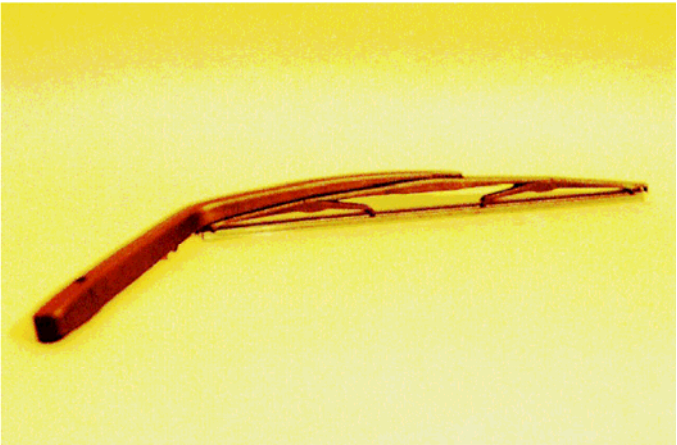


Figura 35 – Haste do limpador de pára-brisas traseiro

Tabela 42 – Necessidades do componente: Haste do limpador de pára-brisas traseiro

1. Ambiente	Região externa com incidência direta de raios solares, portanto sujeita às intempéries, ar e contaminantes ambientais. Constantemente, estará sob vibrações e deverá manter o conjunto limpador fixo, garantindo sua funcionalidade operacional.
2. Principais funções	Prover Rigidez e Suportar Montagem (30%); Prover Ótimo Aspecto Superficial / Prover Beleza/ Eliminar Oxidação (30%); Suportar Vibrações / Choques Mecânicos e Reduzir Ruído (15%); Resistência aos Detergentes (15%); Reduzir Custos (10%).
3. Principais propriedades	Maior Módulo de Flexão (30%); Maior Resistência às Intempéries (30%); Maior Resistência ao Impacto (15%); Alta Resistência Química (15%); Menor Custo Relativo (10%).

continua

conclusão

4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** Componentes rígidos e tenazes (conjunto rígido e capaz de absorver vibrações, e provendo baixo ruído), possibilitando encaixes sob pressão (montagens de outros sub componentes – borrachas limpadoras e fixadores) exibindo ainda, elevada resistência às intempéries, mantendo a performance mecânica, além de resistir às trincas geradas por foto-degradação, por exemplo. **Considerações de Desenho:** espessuras homogêneas, admitindo flexibilidade de formato, com excelente acabamento superficial (provendo beleza e não acumulando sujeira ambiental). **Considerações de Processamento:** os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (90 a 100°C), proporcionando rigidez, brilho e superfície lisa.
5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Componente externo de aparência espelhada (ótimo acabamento superficial), propiciando beleza ao conjunto limpador de pára-brisas. **Aspecto Superficial:** Não admite, qualquer defeito superficial (como manchas, nuvens, riscos e etc). **Transparência:** Componentes Opacos.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir custos, provendo componentes de melhor aspecto (prover beleza), sem oxidação superficial, ou trincas derivadas de foto-degradação e ação de detergentes de uso geral. **Ecológicos:** Produtos devem ser reciclados. **Redução de Peso (Prover Leveza):** Muito Desejável.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Poliéster Híbrido (Carga de Fibra de Vidro e Mineral).
8. Material selecionado na prática	Poliéster Híbrido

Tabela 43 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Pr. Rigidez/Sup. Montagem**	30%
2	**Ótimo Aspecto Superficial**	30%
3	**Sup. Vibr. /Ch. Mecânicos**	15%
4	**Resistir a Deterg./Solv.**	15%
5	**Reduzir Custos**	10%

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	*Valores: 1= Fraco 5= Forte* 1	2	3	4	5
Nylon sem Reforço	**3,5**	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,5**	4,0	3,0	4,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,2**	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Poliacetal	**3,7**	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,7**	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0
Policarbonato	**3,1**	3,0	4,0	4,0	1,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**1,8**	2,0	1,0	2,0	1,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,7**	3,0	2,0	3,0	2,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**2,8**	2,0	3,0	5,0	3,0	1,0

Tabela 44 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alto Módulo de Flexão**	30%
2	**Alta Res. a Intemp./X-test**	30%
3	**Alto Impacto Izod**	15%
4	**Alta Resist. Química**	15%
5	**Menor Custo Relativo**	10%

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	*Valores: 1= Fraco 5= Forte* 1	2	3	4	5
Nylon sem Reforço	**3,2**	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,5**	4,0	3,0	4,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,0**	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Poliacetal	**3,4**	4,0	3,0	3,0	4,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,7**	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0
Policarbonato	**2,9**	3,0	3,0	5,0	1,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,2**	2,0	2,0	3,0	1,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,5**	2,0	2,0	3,0	2,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**2,8**	1,0	4,0	5,0	3,0	1,0

Tabela 45 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (Kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,3**	3,5	3,2
Nylon Reforçado	**2,0**	3,5	3,5
Nylon Carregado	**0,3**	3,2	3,0
Poliacetal	**0,5**	3,7	3,4
Poliéster Híbrido	**0,5**	3,7	3,7
Policarbonato	**3,0**	3,1	2,9
ABS Média Viscosidade	**1,0**	1,8	2,2
Polipropileno Carregado	**3,0**	2,7	2,5
Poliéster Elastomérico	**0,1**	2,8	2,8

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro
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 na Área do Carro (Kg)

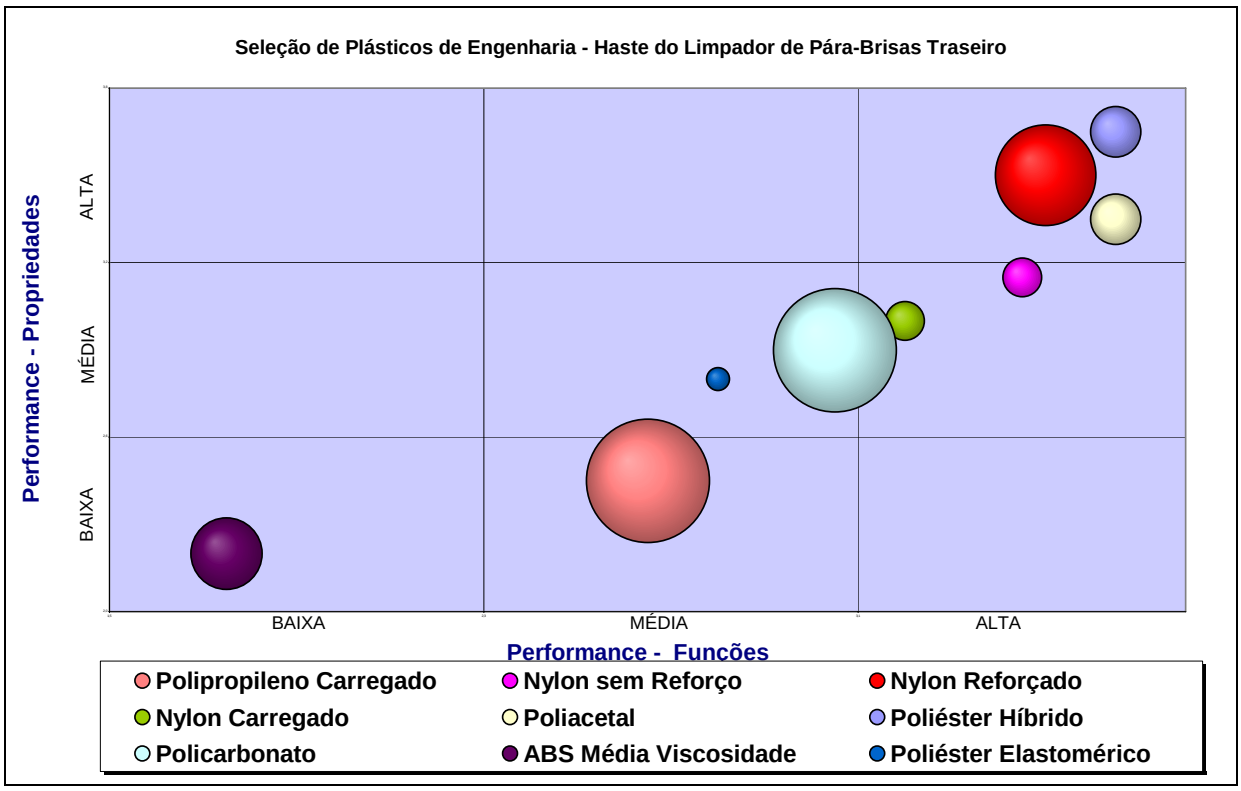


Gráfico 5 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Haste do Limpador de Pára-Brisas Traseiro

5.1.4 Base do Espelho Lateral

A Base do Espelho Lateral (Figura 36), também é um componente pertencente à área externas do automóvel, e também existente. No caso particular deste componente, vários plásticos já foram especificados ao longo do tempo. Pela aplicação desta metodologia de seleção, obtêm-se dois candidatos, que exibem notas muito próximas: o Nylon reforçado e o Poliéster Híbrido (Tabelas 46 a 49 e Gráfico 6). Na prática, a opção recaiu sobre um Nylon com 35% de fibras de vidros, portanto um Nylon reforçado. No tópico de ‘Discussão’, este caso é mais profundamente tratado.

Figura 36 – Base do espelho lateral

Tabela 46 – Necessidades do componente: Base do espelho lateral

1. Ambiente	Região externa, sujeita às intempéries e constante movimentação (ajustes manuais ou automáticos para posicionamento do espelho). Podem-se considerar também, possíveis impactos e choques contra objetos e/ou superfícies paradas (obstáculos, postes, portões, muretas e etc.), ou ainda móveis (bicicletas, motos, e outros veículos). Deverá ainda, servir como apoio do espelho, e conter o conjunto de ajuste manual ou elétrico. Estará sob vibrações constantes, devendo suportar impactos e choques repentinos, além de manter o conjunto estável e rígido.
2. Principais funções	Prover Rigidez e Suportar Montagem (30%); Prover Ótimo Aspecto Superficial / Prover Beleza (25%); Suportar Vibrações / Choques Mecânicos e Reduzir Ruído (20%); Resistência aos Riscos (15%); Reduzir Custos (10%).
3. Principais propriedades	Maior Módulo de Flexão (30%); Maior Resistência às Intempéries (25%); Maior Resistência ao Impacto (20%); Alta Dureza Superficial (15%); Menor Custo Relativo (10%).

continua

conclusão

4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** A base do espelho lateral deve prover rigidez e tenacidade, capazes de absorver choques e vibrações e minimizar ruídos, contendo o conjunto mecânico de acionamento dos espelhos laterais, quer manuais ou automáticos. A elevada resistência às intempéries, mantendo a performance mecânica, além de proporcionar resistência às trincas geradas por foto-degradação, também evitará a perda de coloração. **Considerações de Desenho:** Espessuras homogêneas, admitindo flexibilidade de formato, com excelente acabamento superficial (provendo beleza e não acumulando sujeira ambiental). O conjunto montado deve fornecer uma sensação de robustez visual e tátil. **Considerações de Processamento:** Os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (90 a 100°C), proporcionando rigidez, brilho e superfície lisa.
5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Componente externo de aparência lisa (muito bom acabamento superficial), propiciando beleza ao conjunto do espelho lateral. Este componente deve admitir flexibilidade de formato e possibilitar movimentação, oferecendo formas harmônicas quando aberto ou fechado. **Aspecto Superficial:** Não admite qualquer defeito superficial (como manchas, nuvens, riscos e etc). Sua superfície exibe ótimo acabamento superficial na cor preta. **Transparência:** Componentes opacos.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	Econômicos: Reduzir custos, provendo componentes de melhor aspecto (prover beleza), sem oxidação superficial, ou trincas derivadas de foto-degradação e ação de choques repentinos. Ecológicos: A base e seus componentes internos devem prover desmontagem para facilitar a reciclagem por tipo de material. Redução de Peso (prover leveza): Muito desejável, sem contanto sacrificar sensação de robustez visual e tátil.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Nylon Reforçado ou Poliéster Híbrido (reforçado e carregado com fibras de vidro e carga mineral).
8. Material selecionado na prática	Nylon reforçado com 30% de fibra de vidro.

Tabela 47 – Matriz 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 Funções	% de Importância
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
Poliacetal	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
Policarbonato	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 48 – Matriz 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 Propriedades	% de Importância
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
Poliacetal	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
Policarbonato	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 49 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (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
Poliacetal	**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 na Área do Carro (Kg)

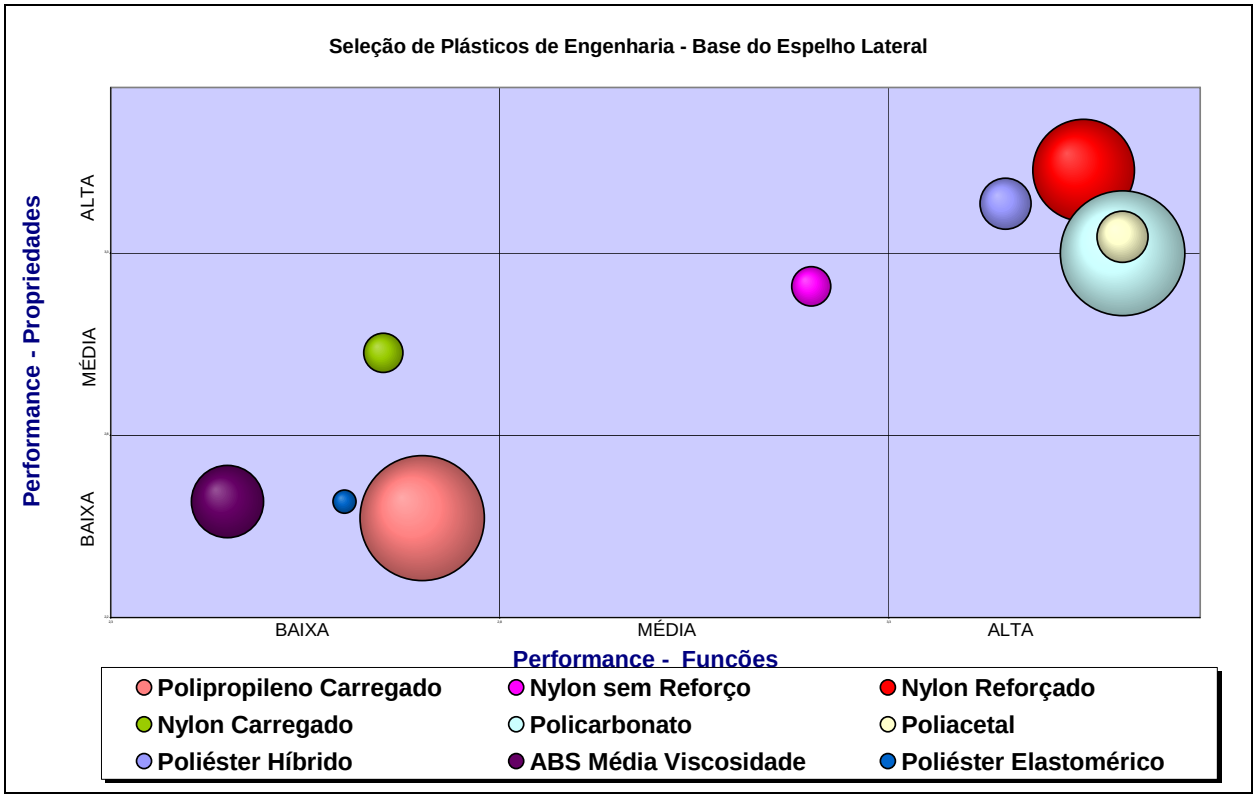


Gráfico 6 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Base do Espelho Lateral

5.2 Simulações de Aplicações na Área do Habitáculo do Motor

A área do habitáculo do motor, é uma das mais demandantes em termos de exigências de funções mecânicas e térmicas dos plásticos de engenharia, assim uma análise cuidadosa sempre é aconselhável, assim como um conhecimento mais profundo, por parte de engenheiro de produto ou projetista, do componente e das condições ambientais em que será utilizado. Neste trabalho, duas simulações para as mais atuais e relevantes aplicações, são usadas como exemplos para a aplicação da metodologia de seleção proposta, a saber: galeria de combustível e o módulo frontal para sistemas (Figuras 37 e 38) e os resultados finais são sumarizados nas Tabelas 78 e 79.

5.2.1 Galeria de Combustível

A galeria de combustível plástica (Figura 37), é um componente existente, e utilizado no habitáculo do motor, que nos últimos anos substituiu o metal como material preferido.

Objetivando-se, selecionar que plástico de engenharia seria a melhor opção para sua obtenção, desenha-se também uma tabela para estabelecer as necessidades da galeria de combustível (Tabela 50).

Figura 37 – Galeria de combustível

Tabela 50 – Necessidades do componente: Galeria de combustível

1. Ambiente	Região do habitáculo do motor, sujeita ao contato direto com combustíveis, submetida a altas temperaturas (até 140°C) e sofrendo a ação de vibração contínua com o automóvel em funcionamento, garantindo excelente hermeticidade com outros componentes do sistema de alimentação de combustível. Assim, a estabilidade dimensional sob calor e a consistência mecânica (fluência e módulo de flexão aliados à elevada resistência ao impacto) ao longo da vida do sistema, são fundamentais para o funcionamento e boa performance do motor do automóvel.
2. Principais funções	Resistir aos Combustíveis (20%); Prover Estabilidade Dimensional (20%); Suportar Cargas ao Calor (20%); Suportar Vibrações / Choques (20%); Prover Rigidez e Suportar Montagem (10%); Reduzir Custos (10%).
3. Principais propriedades	Alta Resistência Química (20%); Baixa Absorção de Umidade / Contração na Moldagem e Coeficiente de Expansão Térmica (20%); Alta Resistência à Flexão / Resistência à Fluência / Temperatura de Deflexão ao Calor (20%); Alto Impacto Izod (20%); Alto Módulo de Flexão (10%); Menor Custo Relativo (10%).
4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** A galeria de combustível é um componente de segurança fundamental à performance do motor e da percepção de qualidade e robustez do veículo pelo consumidor. Deve resistir aos combustíveis e garantir hermeticidade, além de ter estabilidade dimensional mesmo sob vibrações, proporcionando rigidez de montagem ao sistema de alimentação, aliado ao alto impacto sob altas temperaturas. **Considerações de Desenho:** As espessuras das paredes da galeria devem ser homogêneas (evitando contrações diferenciais entre as secções transversais), garantindo alta estabilidade dimensional, performance elevada ao calor e resistência mecânica consistente ao longo de toda a superfície desse componente. Deve permitir o desenho de formatos curvilíneos (substituindo tubulações) e com mínimo de superfícies com emendas (evitando regiões, mecanicamente, fracas). É também necessária, se prever uma superfície lisa na área de contato direto com o combustível. **Considerações de Processamento:** os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (90 a 100°C), proporcionando rigidez, ciclos constantes, repetibilidade de medidas e acabamento liso na parede interna da galeria.

continua

conclusão

5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Componente interno, com médio a bom acabamento de superfície externa, e com bom acabamento interno. **Aspecto Superficial:** Manchas e nuvens devem ser evitadas, sem comprometer as características mecânicas e de resistência química da galeria. **Transparência:** Componentes opacos.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir custos, provendo componentes de melhor performance mecânica e química no longo prazo, e possibilidade de cotas constantes aliado a um ciclo de fabricação (moldagem) baixo. **Ecológicos:** A galeria pode ser totalmente reciclada, pela simples moagem das possíveis peças incompletas ou refugos e utilizada numa base de até 20%, na mistura com o material virgem. **Redução de Peso (prover leveza):** Desejável, sem contanto sacrificar qualidade técnica (robustez mecânica e química) da galeria de combustível.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Nylon Reforçado.
8. Material selecionado na prática	Nylon 66 reforçado com 30% de Fibras de Vidro.

Pela análise desta tabela, o ambiente (item 1 dessa tabela) em que trabalharia (neste caso a área do habitáculo do motor), as principais funções (item 2 da tabela) e propriedades (item 3 da tabela), com seus respectivos pesos ou percentuais de importância para esta área do carro (pesos que são definidos pelo engenheiro de produto ou projetista com o auxílio das Tabelas 9 a 12: relação entre funções e propriedades para áreas exteriores neste caso), seguindo o processo, as considerações estruturais, de desenho, processamento (item 4 da tabela), além de aspectos ligados à aparência e aspecto superficial ou transparência e cor (exemplificados no item 5 da tabela) são ainda determinadas. Também os fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso (item 6 da tabela) a seu tempo, os são, e finalizando, explicita-se a família, o tipo de plástico de engenharia sugerido pelo método (item 7 da tabela), e o plástico selecionado na prática (item 08 da mesma

tabela), completando-se assim a tabela de necessidades técnicas da galeria de combustível. Provido dessas informações, é agora possível alimentar-se as planilhas ou telas eletrônicas criadas, uma em seqüência à outra.

Desta maneira, inicia-se o processo, pela planilha da performance das funções (Tabela 51).

Tabela 51 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Galeria de Combustível

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Resistir a Comb. e Óleos**	20%
2	**Pr. Estab. Dimensional**	20%
3	**Sup. Cargas ao Calor**	20%
4	**Sup. Vibrações/Ch. Mec.**	20%
5	**Pr. Rigidez/Sup. Montagem**	10%
6	**Reduzir Custos**	10%

Valores: 1= Fraco 5= Forte

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	**3,2**	4,0	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,6**	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,3**	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	2,0
Poliacetal	**3,2**	4,0	3,0	3,0	3,0	4,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,6**	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0
Policarbonato	**2,9**	1,0	4,0	3,0	4,0	3,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,2**	1,0	4,0	1,0	2,0	2,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,7**	2,0	3,0	2,0	3,0	3,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**3,1**	3,0	4,0	2,0	5,0	2,0	1,0

Deve-se assim: I - preencher a lista das funções – tomando-se como referência, a relação entre funções e propriedades presentes na área do habitáculo do motor (caso da galeria de combustível em estudo), constantes da Tabela 10 ou tomá-las diretamente do item 2 da Tabela 50 (onde já se encontram listadas), e de acordo com a relevância dessas funções na visão do profissional automotivo, lhes atribuir os pesos ou percentuais de importância em ordem decrescente (perfazendo 100%, no total – conforme item 2 da Tabela 50); II - listar-se os plásticos de

engenharia considerados na seleção, e lhes atribuir as notas relativas – cada plástico e sua nota correspondente à função (uso da Tabela 25 – principais funções dos plásticos de engenharia) que serão ponderadas pelo percentual de importância ou peso sugerido pelo engenheiro (a nota será multiplicada pelo percentual de importância atribuída às funções).

Chega-se a seguir, na planilha de performance das propriedades (Tabela 52):

Tabela 52 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Galeria de Combustível

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alta Resistência Química**	20%
2	**Baixa Contr.de Moldagem**	20%
3	**Alta Temp. Defl. ao Calor**	20%
4	**Alto Impacto Izod**	20%
5	**Alto Módulo de Flexão**	10%
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	2,0	3,0	4,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,8**	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,0**	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Poliacetal	**3,0**	4,0	2,0	3,0	3,0	4,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,6**	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0
Policarbonato	**3,1**	1,0	4,0	3,0	5,0	3,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,4**	1,0	3,0	2,0	3,0	2,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,5**	2,0	2,0	2,0	3,0	2,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**2,6**	3,0	2,0	2,0	5,0	1,0	1,0

Deste modo deve-se: I - preencher as propriedades relativas às funções constantes nesta tabela (utilizar-se como apoio a Tabela 10) ou tomá-las diretamente do item 3 da Tabela 50 (onde já se encontram listadas), e lhes atribuir pesos ou percentuais de importância, similares aos usados para as funções presentes na Tabela 51 (podendo, ainda ser iguais, pouco maiores, ou pouco menores que aqueles, utilizados nas suas funções correlatas, desde que se mantenha os 100% de soma

dos percentuais, exigidos); II - listar-se os plásticos de engenharia considerados na seleção (mesma ordem obedecida na Tabela 51), e lhes atribuir as notas relativas – cada plástico e sua nota correspondente à propriedade (uso da Tabela 23 – principais propriedades dos plásticos de engenharia), que serão ponderadas pelo percentual de importância ou peso sugerido pelo engenheiro automotivo (a nota será multiplicada pelo percentual de importância atribuído às propriedades).

Na seqüência, a Tabela 53, mostrará o resumo do que foi obtido nas planilhas ou telas anteriores, que será gerado automaticamente.

Tabela 53 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (Kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,8**	3,2	3,0
Nylon Reforçado	**6,0**	3,6	3,8
Nylon Carregado	**2,5**	3,3	3,0
Poliacetal	**0,3**	3,2	3,0
Poliéster Híbrido	**1,0**	3,6	3,6
Policarbonato	**0,1**	2,9	3,1
ABS Média Viscosidade	**0,1**	2,2	2,4
Polipropileno Carregado	**3,0**	2,7	2,5
Poliéster Elastomérico	**0,1**	3,1	2,6

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Galeria de Combustível
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 na Área do Carro (Kg)

Entretanto ainda, é necessário preencher-se adicionalmente: o volume estimado de uso de cada plástico de engenharia na área do carro que se está avaliando (mesma seqüência de ordem da Tabela 51 e 52), e neste caso da galeria de combustível, consideraremos as massas por plástico para aplicações exteriores, constantes na Tabela 27 – Estimativa de Consumo de Plástico, e que

definirão os tamanhos das Bolas (cada uma associada a determinado plástico de engenharia) no gráfico; e ainda, preencher os campos do título do gráfico de bolas (no caso, a galeria de combustível), o nome do eixo X (Performance – Funções), o nome do eixo Y (Performance – Propriedades).

Em suma, considerando a boa utilização da ferramenta computadoriza de planilhas ou telas eletrônicas, o gráfico de bolas será automaticamente gerado, e cada plástico de engenharia representado por sua 'Bola'específica será nele mostrado, sendo que aquele selecionado será, o que estiver posicionado mais ao topo do quadrante da direita. Neste caso da galeria, a simulação propõe a família de Nylons, indicando um tipo 'reforçado' (Gráfico 7). Na prática, a escolha também indicou a família de Nylons e um tipo 'reforçado' com 30% de Fibras de Vidro (Tabelas 78 e 79), comprovando a eficiência da metodologia proposta, para este componente.

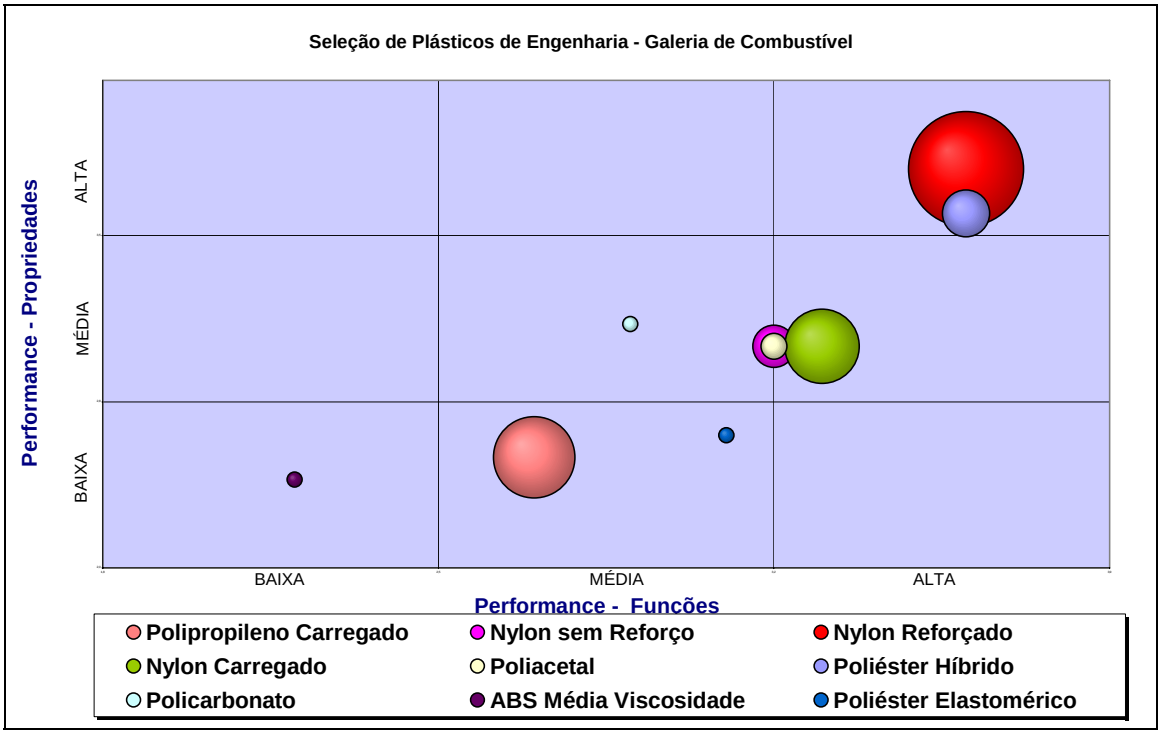


Gráfico 7 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Galeria de Combustível

5.2.2 Módulo Frontal para Sistemas

Uma outra aplicação muito relevante atualmente na indústria automotiva, é o Módulo Frontal para Montagem de Sistemas (Figura 38), que se acha localizado à frente do motor automóvel, e por isso sujeito a todas às exigências técnicas desta área do automóvel do habitáculo do motor. Aqui, se procedeu de maneira análoga ao exercício, anterior. E pela aplicação da metodologia proposta, o plástico de engenharia sugerido, aponta para uma família de Nylons, e de tipo reforçado (Tabelas 54, 55, 56, 57 e Gráfico 8). Em comparação à prática, que também selecionou um Nylon com 30% de Fibras de Vidro, novamente a metodologia mostrou-se eficaz (Tabelas 78 e 79).

Figura 38 – Módulo frontal para sistemas

Tabela 54 – Necessidades do componente: Módulo frontal para sistemas

1. Ambiente	Posicionado na parte da frente do habitáculo do motor que sustenta, além do radiador, o sistema de faróis e demais sistemas ali localizados. É um componente estrutural e de grande porte, que deve suportar cargas elevadas, sofrendo a ação do calor presente nesta região (até 140°C), sujeito às vibrações, portanto devendo proporcionar além de elevada rigidez, alta resistência ao impacto, alta estabilidade dimensional, resistência aos combustíveis e óleos, uma perfeita montagem ao cofre do motor.
2. Principais funções	Suportar Cargas / Calor (20%); Suportar Vibrações / Choques (20%); Prover Rigidez e Suportar Montagem (20%); Prover Estabilidade Dimensional (15%); Resistir aos Combustíveis e Óleos (15%); Reduzir Custos (10%).
3. Principais propriedades	Alta Temperatura de Deflexão ao Calor e Alta Fluência (20%); Alta Resistência ao Impacto Izod (20%); Alto Módulo de Flexão (20%); Baixa Contração na Moldagem e Coeficiente de Expansão Térmica (15%); Resistência Química (15%); Menor Custo Relativo (10%).

continua

conclusão

4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** O módulo frontal é um componente estrutural que sustenta vários sistemas na região do motor, devendo ser robusto e resistente, com espessuras maiores (4mm) que as de componentes de plásticos de engenharia mais comuns, onde a presença de elementos de reforço como nervuras e aletas (aumento da resistência mecânica geral), além de insertos metálicos (áreas de fixação de parafusos e rebites) são essenciais para garantir a melhor performance do sistema. **Considerações de Desenho:** As espessuras das paredes do módulo frontal devem ser homogêneas (evitando contrações diferenciais entre as secções transversais) e maiores que as convencionais, garantindo alta estabilidade dimensional, resistência mecânica geral (ao longo de sua superfície) e performance elevada ao calor sob cargas, já que deve suportar e conter outros sistemas. **Considerações de Processamento:** Os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (90 a 100°C), assim como os insertos metálicos devem também estar a estas temperaturas, proporcionando rigidez, ciclos constantes, repetibilidade de medidas e contrações balanceadas (entre as secções transversais e longitudinais).
5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Homogênea, exibindo acabamento de superfície médio. **Aspecto Superficial:** Ausência de migrações de aditivos ou reforços na superfície do componente. **Transparência:** Componentes opacos.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir custos, provendo componentes de excelente performance mecânica (suportar cargas e vibrações) no longo prazo, aliado a um ciclo de moldagem baixo. **Ecológicos:** O módulo frontal pode ser totalmente reciclado, pela simples moagem das possíveis peças incompletas ou refugos e utilizada numa base de até 20%, na mistura com o material virgem. Os insertos metálicos (parafusos e rebites) devem ser separados do componente plástico na reciclagem. **Redução de Peso (prover leveza):** Extremamente desejável, já que além de diminuir o peso, diminui a carga sobre o conjunto de suspensão (aumentando o seu ciclo de vida).
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Nylon Reforçado.
8. Material selecionado na prática	Nylon 66 reforçado com 30% de Fibra de Vidro.

Tabela 55 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Módulo Frontal para Sistemas

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Sup. Cargas ao Calor**	20%
2	**Sup. Vibrações/Ch. Mec.**	20%
3	**Prover Rigidez**	20%
4	**Pr. Estab. Dimensional**	15%
5	**Res. a Combustíveis/Óleos**	15%
6	**Reduzir Custos**	10%

Valores: 1= Fraco 5= Forte

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	**3,2**	3,0	4,0	3,0	2,0	4,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,7**	4,0	4,0	4,0	3,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,2**	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	2,0
Poliacetal	**3,3**	3,0	3,0	4,0	3,0	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	4,0	3,0	4,0	1,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,2**	1,0	2,0	2,0	4,0	1,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,8**	2,0	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**3,0**	2,0	5,0	2,0	4,0	3,0	1,0

Tabela 56 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Módulo Frontal para Sistemas

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alta Temp.Deflexão Calor**	20%
2	**Alto Impacto Izod**	20%
3	**Alto Módulo de Flexão**	20%
4	**Baixa Contr. Moldagem**	15%
5	**Alta Resistência 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	**3,1**	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,8**	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,0**	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Poliacetal	**3,1**	3,0	3,0	4,0	2,0	4,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,6**	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	2,0
Policarbonato	**3,2**	3,0	5,0	3,0	4,0	1,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,4**	2,0	3,0	2,0	3,0	1,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,5**	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**2,5**	2,0	5,0	1,0	2,0	3,0	1,0

Tabela 57 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (Kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,8**	3,2	3,1
Nylon Reforçado	**6,0**	3,7	3,8
Nylon Carregado	**2,5**	3,2	3,0
Poliacetal	**0,3**	3,3	3,1
Poliéster Híbrido	**1,0**	3,6	3,6
Policarbonato	**0,1**	3,0	3,2
ABS Média Viscosidade	**0,1**	2,2	2,4
Polipropileno Carregado	**3,0**	2,8	2,5
Poliéster Elastomérico	**0,1**	3,0	2,5

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Módulo Frontal para Sistemas
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 na Área do Carro (Kg)

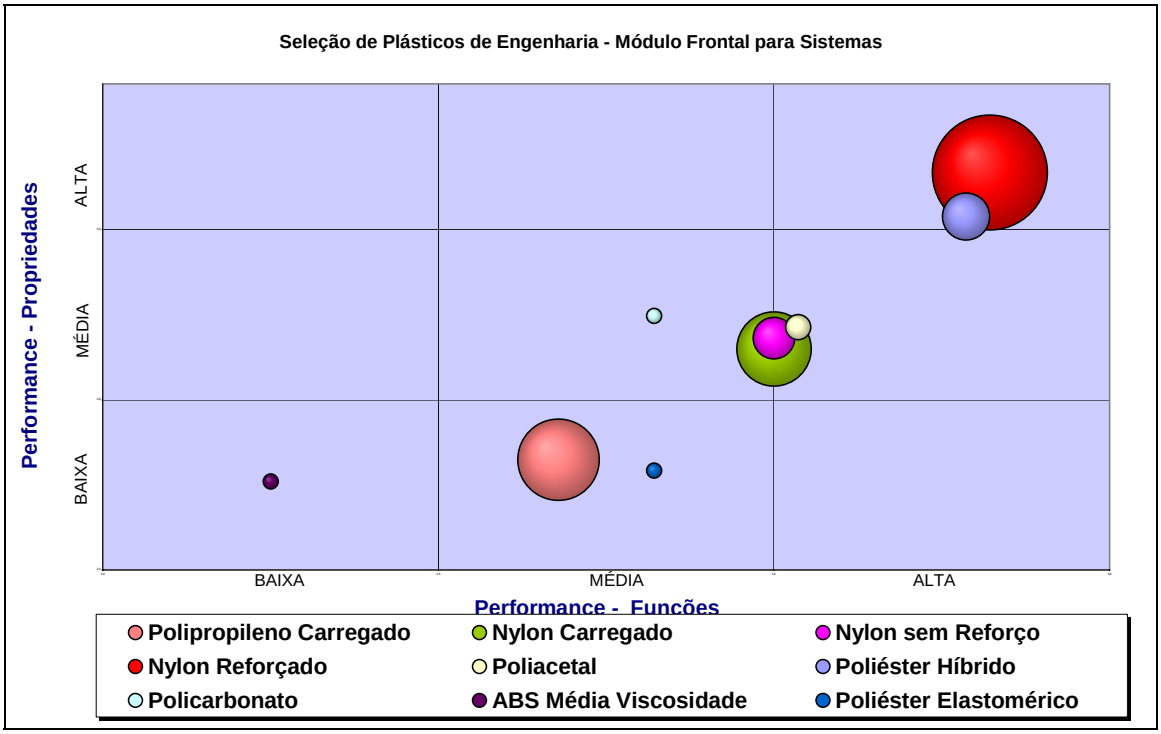


Gráfico 8 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Módulo Frontal para Sistemas

5.3 Simulações de Aplicações na Área do Habitáculo Interior

Das doze análises, duas simulações foram realizadas em componentes existentes do habitáculo interno do veículo, área na qual, há uma grande tendência de se utilizar plásticos comuns em substituição aos metais, mas que devido, principalmente às necessidades crescentes de aumento de conforto interno (acústica, aspecto superficial, formatos modernos, cheiros), segurança (resistência mecânica, estabilidade dimensional) e estética (provendo beleza através, de cores e aparência superficial), demandadas pelo consumidor, têm implicado uma utilização importante de plásticos de engenharia.

Os componentes externos, aqui escolhidos são, a saber: a capa deslizadora do cinto de segurança, e a capa do air-bag (Tabelas 78 e 79).

5.3.1 Capa Deslizadora do Cinto de Segurança

A capa deslizadora do cinto de segurança (Figura 39), é um componente importante no habitáculo interior do automóvel, visto tratar-se de um sistema considerado de segurança para os ocupantes do veículo.

A utilização da metodologia de seleção proposta no trabalho, sugere como resultado a escolha de um poliacetal. Apesar de recomendar a família adequada, o tipo de poliacetal utilizado na escolha prática, é estabilizado aos Raios UV (Tabelas 58 a 61 e Gráfico 9). Claro, que aqui cabe uma explicação, o tipo de poliacetal estabilizado aos Raios UV, não está disponível na lista de plásticos de engenharia utilizada no presente no trabalho.

Assim, caso estivesse, isto implicaria que obtivesse maiores notas na função/propriedade de Prover Ótimo Aspecto Superficial/ Alta Resistência às Intempéries, que o tipo padrão de poliacetal (único constante na lista de materiais aqui empregada).

Figura 39 – Capa deslizadora do cinto de segurança

Tabela 58 – Necessidades do componente: Capa deslizadora do cinto de segurança

1. Ambiente	Localizado no habitáculo interior do veículo, sob um regime térmico ambiental, que dependerá da temperatura da área geográfica onde circulará (ambientes com temperaturas entre –50°C e 80°C). Por tratar-se de um componente de um sistema considerado de segurança para os ocupantes do veículo, não poderá desprender-se do conjunto, além de suportar o deslizamento e travamento do cinto de segurança, promovido pela resistência ao movimento da massa corpórea do ocupante.
2. Principais funções	Suportar Cargas (25%); Resistir ao Atrito / Riscos (25%); Prevenir Fissuras / Prover Aspecto Superficial (20%); Prover Estabilidade Dimensional (10%); Suportar Vibrações / Choques Mecânicos (10%); Reduzir Custos (10%).
3. Principais propriedades	Resistência à Fluência (25%); Baixa Coeficiente de Fricção (20%); Resistência aos Raios U.V. / Xenon-test (20%); Baixa Absorção de Umidade (20%); Alta Resistência ao Impacto Izod (10%); Baixo Custo Relativo (5%).
4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** A capa deslizadora é um componente de espessura média acima de 3mm, não podendo apresentar defeitos na superfície (superfície lisa) e tão pouco falhas na secção transversal das paredes (bolhas internas, por exemplo). Deve ser resistente aos choques mecânicos (quedas e impactos repentinos), exibindo estabilidade dimensional (distorções sob carga ou alteração de dimensões por absorção de umidade, por exemplo). A função deslizante é essencial para possibilitar a movimentação do cinto de segurança, tanto no travamento quanto na liberação do mesmo. **Considerações de Desenho:** As espessuras das paredes do módulo frontal devem ser homogêneas para evitar empenamentos ou distorções durante e após a moldagem (prevenindo-se ainda, contrações diferenciais entre as secções transversais). Uma elevada resistência mecânica geral (principalmente resistência ao impacto), deve ser favorecida, por um desenho estruturado por nervuras e aletas. **Considerações de Processamento:** os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (90 a 100°C), proporcionando resistência mecânica, ciclos constantes, repetibilidade de medidas e contrações balanceadas (entre as secções transversais e longitudinais).

continua

conclusão

5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Homogênea , exibindo acabamento de superfície liso. **Aspecto Superficial:** Ausência de manchas e nuvens, provendo uma superfície lisa que garanta o deslizamento do cinto de segurança. **Transparência:** Componentes opacos, em geral na cor preta (maior resistência aos raios U.V.) ou cinza.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir custos, provendo componentes de excelente performance mecânica (suportar cargas) no longo prazo, aliado a um ciclo de moldagem baixo. **Ecológicos:** A Capa Deslizadora do Cinto de Segurança pode ser totalmente reciclada, pela simples moagem das possíveis peças incompletas ou refugos e utilizada numa base de até 20%, na mistura com o material virgem. **Redução de Peso (prover leveza):** Ligeiramente desejável, mas deve proporcionar a sensação de segurança ao ocupante do veículo.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Poliacetal.
8. Material selecionado na prática	Poliacetal estabilizado aos Raios U.V.

Tabela 59 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa Deslizadora do Cinto de Segurança

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Suportar Cargas**	25%
2	**Resisitir ao Atrito**	25%
3	**Pr. Ótimo Asp. Sup.**	20%
4	**Pr. Estab. Dimensional**	10%
5	**Sup. Vibr. / Ch. Mec.**	10%
6	**Reduzir Custos**	10%

Valores: 1= Fraco 5= Forte

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	**3,2**	3,0	3,0	4,0	2,0	4,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,0**	4,0	2,0	3,0	3,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,2**	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	2,0
Poliacetal	**3,4**	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,5**	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	2,0
Policarbonato	**3,1**	2,0	3,0	4,0	4,0	4,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,0**	1,0	2,0	1,0	4,0	2,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,2**	1,0	2,0	2,0	3,0	3,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**2,6**	1,0	3,0	3,0	4,0	5,0	1,0

Tabela 60 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa Deslizadora do Cinto de Segurança

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alta Resist. à Fluência**	25%
2	**Baixo Coef. de Atrito**	20%
3	**Alta Res. Intemp./X-test**	20%
4	**Baixa Abs.de Umidade**	20%
5	**Alto Impacto Izod**	10%
6	**Menor Custo Relativo**	5%

Valores: 1= Fraco 5= Forte

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	**2,9**	3,0	3,0	3,0	2,0	4,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,1**	4,0	2,0	3,0	3,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,0**	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Poliacetal	**3,8**	4,0	5,0	3,0	4,0	3,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,4**	4,0	2,0	4,0	4,0	3,0	2,0
Policarbonato	**3,2**	3,0	3,0	3,0	3,0	5,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,0**	1,0	1,0	2,0	3,0	3,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,4**	1,0	2,0	2,0	4,0	3,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**3,0**	1,0	3,0	4,0	4,0	5,0	1,0

Tabela 61 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Atual (kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,5**	3,2	2,9
Nylon Reforçado	**1,0**	3,0	3,1
Nylon Carregado	**0,5**	3,2	3,0
Poliacetal	**3,0**	3,4	3,8
Poliéster Híbrido	**0,5**	3,5	3,4
Policarbonato	**0,3**	3,1	3,2
ABS Média Viscosidade	**1,0**	2,0	2,0
Polipropileno Carregado	**5,0**	2,2	2,4
Poliéster Elastomérico	**0,5**	2,6	3,0

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa Deslizadora do Cinto de Segurança
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)

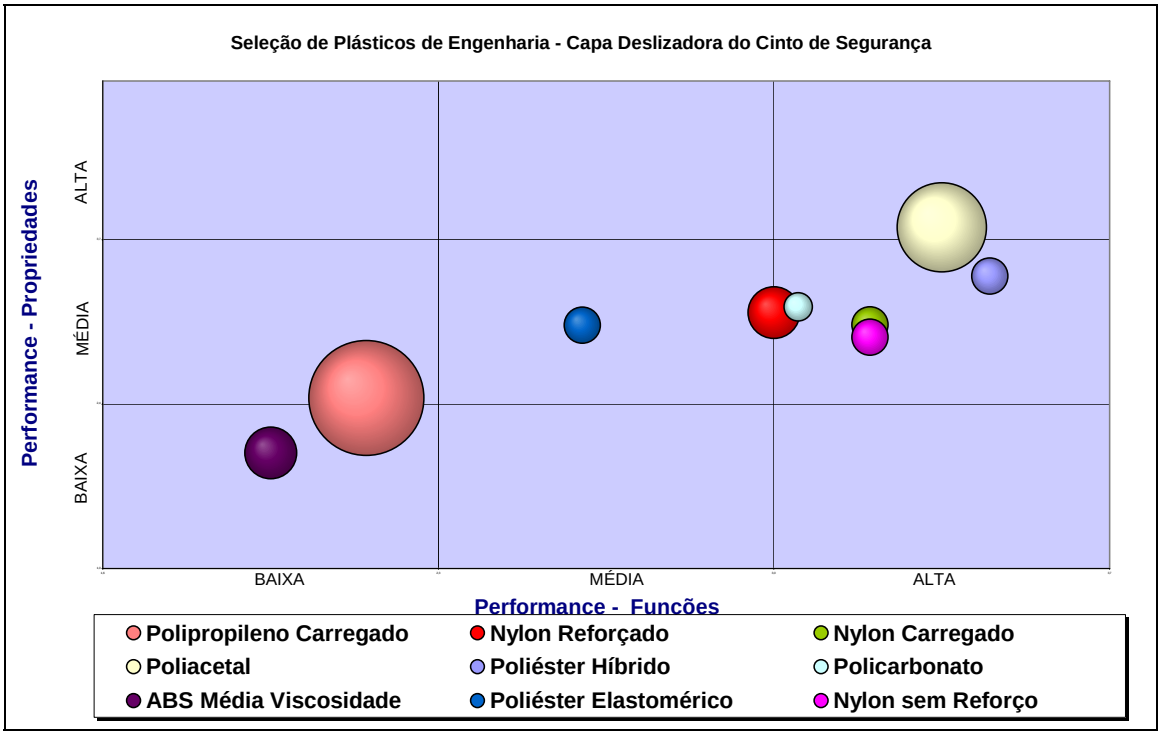


Gráfico 9 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa Deslizadora do Cinto de Segurança

5.3.2 Capa para *Air-Bag*

Figura 40 – Capa para *air-bag*

O chamado ‘Air-Bag’ (Figura 40), apesar de ser ainda um acessório não obrigatório nos carros populares, é provavelmente um item que, mais cedo ou mais tarde, será incorporado à produção de todos os veículos automotores, inclusive motocicletas.

A metodologia de seleção empregada, dirige os resultados para o plástico da capa do ‘air-bag’, para a escolha de uma família de poliésteres, e do tipo elastomérico. Na prática, os plásticos de engenharia selecionados foram o poliéster elastomérico (nas capas dos veículos mais modernos) e o poli-uretano nos veículos mais antigos (Tabelas 62 a 65 e Gráfico 10) . Desta forma, pode-se afirmar, que a sugestão resultante da aplicação da metodologia, é eficaz (Tabelas 78 e 79).

Tabela 62 – Necessidades do componente: Capa para *air-bag*

1. Ambiente	Estão, em geral, localizados no habitáculo interior do veículo, sob um regime térmico do ambiente em que será utilizado (temperaturas, entre –50°C e 80°C). Por causa disto, a Capa do ‘Air-Bag’, é um componente muito relevante no desempenho do sistema como um todo. Isto porque deve ser produzida num material que possua flexibilidade a baixas temperaturas, evitando que o material torne-se rígido, para não promover lesões aos ocupantes do veículo. Por outro lado, também não podem ser muito flexíveis, a ponto de soltar-se com facilidade, disparando o ‘Air-Bag’. A Capa do Air-Bag também exerce a função da Tampa do Conjunto do Volante, onde é montado o acionador da buzina do veículo. Como peça interna, deve proporcionar a obtenção de superfícies homogêneas e prover beleza e sensação de maciez ao ser tocada.
2. Principais funções	Prover Flexibilidade e Minimizar Ruído (30%); Suportar Vibrações e Choques Mecânicos (20%); Prover Beleza / Prevenir Fissuras /Aspecto Superficial (20%); Prover Estabilidade Dimensional (20%); Reduzir Custos (10%).
3. Principais propriedades	Alto Alongamento na Ruptura (30%); Alta Resistência ao Impacto (20%); Resistência aos Raios U.V./Xenon-test (20%); Baixa Absorção de Umidade (20%); Baixo Custo Relativo (10%).

continua

conclusão

4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** A Capa do 'Air-Bag' deve ser desenhada, prevendo encaixes sob pressão (fixação no volante e retenção do 'Air-Bag'), sendo um componente de espessura média de 2mm a 2,5mm, não podendo apresentar defeitos na superfície (homogênea), e ainda provendo boa estética (beleza e maciez ao tato). Deve ser resistente às vibrações (não podendo soltar-se do frontal do volante). **Considerações de Desenho:** As espessuras das paredes da Capa do 'Air-Bag' devem ser homogêneas para evitar empenamentos ou distorções durante e após a moldagem (prevenindo-se ainda,contrações diferenciais entre as secções transversais). No desenho dos encaixes de pressão, deve-se evitar a presença de ângulos vivos, (utilizar raios de 5°), para se evitar falhas mecânicas (aumentando-se a resistência ao impacto). **Considerações de Processamento:** Os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (80°C), proporcionando resistência mecânica, ciclos constantes, repetibilidade de medidas, e contrações balanceadas (entre as secções transversais e longitudinais).
5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Homogênea, exibindo acabamento também homogêneo (em geral imitando couro). **Aspecto Superficial:** Ausência de manchas e nuvens, provendo uma superfície macia ao tato. **Transparência:** Componentes opacos, em geral na cor preta (maior resistência aos raios U.V.) ou cinza.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Os custos podem ser reduzidos através de espessuras menores (homogêneas), porém privilegiando a consistência técnica. **Ecológicos:** A Capa 'Air-Bag' pode ser totalmente reciclada, pela simples moagem das possíveis peças incompletas ou refugos e utilizada numa base de até 40%, na mistura com o material virgem. **Redução de Peso (prover leveza):** Ligeiramente desejável, mas deve proporcionar a sensação de segurança e beleza ao ocupante do veículo.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Poliéster Elastomérico.
8. Material selecionado na prática	Poliéster Elastomérico e Poli-Uretano.

Tabela 63 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa do Air-Bag

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Pr. Flexibilidade/Min. Ruído**	30%
2	**Sup. Vibr./Choques Mec.**	20%
3	**Prover Beleza**	20%
4	**Prover Estab. Dimensional**	20%
5	**Reduzir Custos**	10%

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5
		Valores:	*1= Fraco 5= Forte*			
Nylon sem Reforço	**3,3**	4,0	4,0	3,0	2,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,5**	1,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Nylon Carregado	**2,6**	2,0	3,0	2,0	4,0	2,0
Poliacetal	**2,8**	2,0	3,0	4,0	3,0	2,0
Poliéster Híbrido	**2,7**	1,0	3,0	4,0	4,0	2,0
Policarbonato	**4,0**	4,0	4,0	5,0	4,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,8**	2,0	2,0	3,0	4,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,6**	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**4,0**	5,0	5,0	3,0	4,0	1,0

Tabela 64 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa do Air-Bag

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alto Along. na Ruptura**	30%
2	**Alto Impacto Izod**	20%
3	**Res. Intemp./Xenon-test**	20%
4	**Bx. Absorção Umidade**	20%
5	**Menor Custo Relativo**	10%

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	1	2	3	4	5
		Valores:	*1= Fraco 5= Forte*			
Nylon sem Reforço	**3,3**	4,0	4,0	3,0	2,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,5**	1,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Nylon Carregado	**2,7**	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Poliacetal	**3,1**	3,0	3,0	3,0	4,0	2,0
Poliéster Híbrido	**2,7**	1,0	3,0	4,0	4,0	2,0
Policarbonato	**3,6**	4,0	5,0	3,0	3,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,6**	2,0	3,0	2,0	3,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,9**	2,0	3,0	2,0	4,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**4,2**	5,0	5,0	4,0	4,0	1,0

Tabela 65 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (Kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,5**	3,2	2,9
Nylon Reforçado	**1,0**	3,0	3,1
Nylon Carregado	**0,5**	3,2	3,0
Poliacetal	**3,0**	3,4	3,8
Poliéster Híbrido	**0,5**	3,5	3,4
Policarbonato	**0,3**	3,1	3,2
ABS Média Viscosidade	**1,0**	2,0	2,0
Polipropileno Carregado	**5,0**	2,2	2,4
Poliéster Elastomérico	**0,5**	2,6	3,0

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa Deslizadora do Cinto de Segurança
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 na Área do Carro (Kg)

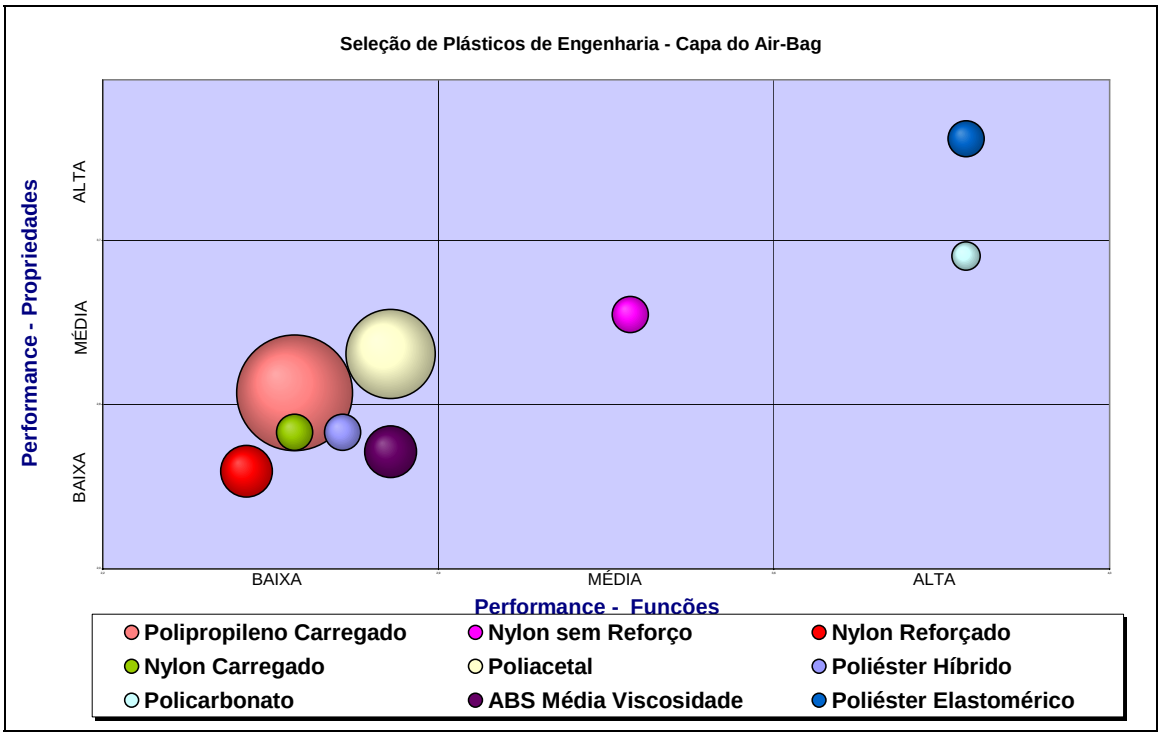


Gráfico 10 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa para Air-Bag

5.4 Simulações em Áreas de Componentes Eletro-Automotivos

Também duas simulações na área de componentes eletro-automotivos, das doze em análise, são tomadas para a aplicação deste processo seletivo e da metodologia. Neste caso, as simulações consideram aplicações semelhantes no uso (eletro-eletrônicas) porém localizadas em lugares diferentes nos veículos populares. Posto desta maneira, o conjunto, a capa-base e carretel do relê (Figura 41), é utilizado no habitáculo do motor, portanto submetidas às funções-propriedades presentes na vizinhança do motor.Em contrapartida, os conectores (também de uso eletro-eletrônico – Figura 42), são utilizados no interior do veículo popular, logo submetidos às premissa de funções-propriedades do habitáculo interno.

5.4.1 Base, Capa e Carretel de Bobina de Relê de Controle

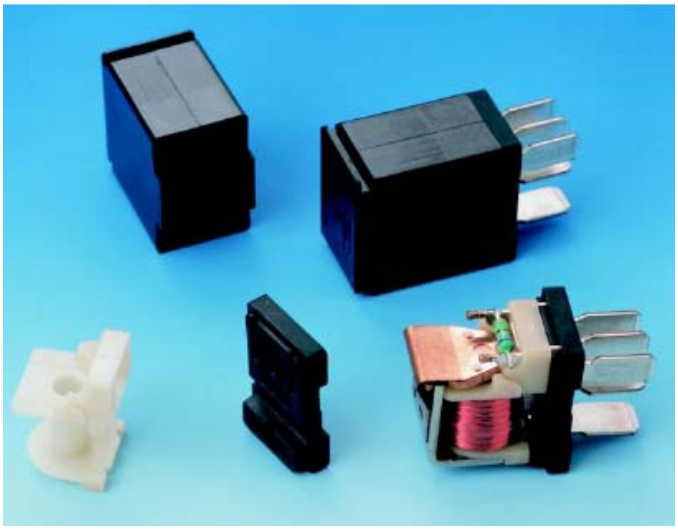


Figura 41 – Base, capa e carretel de bobina de relê de controle

A metodologia utilizada, considera além da função de prover isolamento elétrico, o conjunto de funções-propriedades válidos para o habitáculo do motor, conduzindo o resultado desta análise (Tabelas 66 a 69 e Gráfico 11), para a escolha de um candidato da família de poliésteres, do tipo híbrido, coincidente na prática, com o plástico de engenharia efetivamente utilizado nos veículos populares atuais, também um poliéster híbrido.

O procedimento propicia assim, um acerto na família e no tipo de plástico para este componente (Tabela 79 e 80).

Tabela 66 – Necessidades do componente: Base, capa e carretel de bobina de relê de controle

1. Ambiente	Este sistema de relê é composto de uma base e capa (anteriormente metálicas), e um carretel de bobina, exibindo uma combinação de pólo simples e duplo numa mesma unidade. Quando na posição aberta, é calibrado a 20A, e a 10A na posição fechada. Serve para controlar as luzes, os motores elétricos, buzinas e limpadores de pára-brisas. O sistema deverá suportar 300.000 ciclos de operação, submetido a temperaturas entre –40°C e +125°C, e trabalhará no habitáculo do motor (sujeito às vibrações inerentes à área, e contato com óleos e combustíveis).
2. Principais funções	Suportar Cargas ao Calor (20%); Prover Isolamento Elétrico (20%); Suportar Vibrações / Choques Mecânicos (20%); Proporcionar Manutenção de Propriedades (15%); Resistir aos Óleos e Combustíveis (15%); Prover Estabilidade Dimensional (10%).
3. Principais propriedades	Alta Temperatura de Deflexão ao Calor e Fluência (20%); Constante Dielétrica / Resistividade Volumétrica (20%); Alta Resistência ao Impacto (20%); Alto Índice de temperatura UL (15%); Alta Resistência Química (15%); Baixa Absorção de Umidade (10%).

continua

conclusão

4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** A base do relê deverá ser resistente ao calor, à fluência, e ainda resistir a vibrações constantes durante o funcionamento do automóvel. Os insertos metálicos incorporados durante a fase do processo, devem garantir a rigidez do componente como um todo, fixando-o e assegurando as funções a que se destina. As partes constituintes do sistema (base, capa e bobina), devem ter espessura entre 0,8mm a 1,8mm, não podendo apresentar empenamento. Deve manter a rigidez do sistema (terminais não podem escapar de seus alojamentos). **Considerações de Desenho:** As espessuras das paredes dos componentes integrantes do sistema de relê devem ser finas e o fluxo do material deve ser favorecido (sem obstáculos) para não danificar as espiras do carretel. **Considerações de Processamento:** Os componentes têm paredes finas, assim, o material deve apresentar bom processamento, sem, no entanto, comprometer a resistência mecânica do material. As duas metades do molde devem ser aquecidas separadamente a temperaturas de 80°C a 115°C.
5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Homogênea, exibindo acabamento liso. **Aspecto Superficial:** Ausência de manchas e nuvens, provendo uma superfície dura e rígida. **Transparência:** Componentes opacos, em geral na cor preta, pois será utilizado na região do motor.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Os custos podem ser reduzidos, porém sem sacrificar a resistência mecânica geral. **Ecológicos:** Os componentes podem ser totalmente reciclados, pela simples moagem das possíveis peças incompletas ou refugos e utilizada numa base de até 40% na mistura com o material virgem. **Redução de Peso (prover leveza):** Ligeiramente desejável, mas deve proporcionar a sensação de robustez mecânica.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Poliéster Híbrido.
8. Material selecionado na prática	Poliéster Híbrido.

Tabela 67 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê de Controle – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa, Base e Carretel de Relê

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Sup. Cargas ao Calor**	20%
2	**Pr. Isolamento Elétrico**	20%
3	**Sup. Vibrações/Ch. Mec.**	20%
4	**Manter Propr. ao Calor**	15%
5	**Resistir a Comb. e Óleos**	15%
6	**Pr. Estab. Dimensional**	10%

		Valores:	*1= Fraco 5= Forte*				
Plástico de Engenharia	**Média, Notas & Pesos**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Nylon sem Reforço	**3,3**	3,0	3,0	4,0	3,0	4,0	2,0
Nylon Reforçado	**3,6**	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0
Nylon Carregado	**3,3**	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0
Poliacetal	**3,3**	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0
Poliéster Híbrido	**3,8**	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0
Policarbonato	**3,3**	3,0	3,0	4,0	5,0	1,0	4,0
ABS Média Viscosidade	**1,7**	1,0	2,0	2,0	1,0	1,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,5**	2,0	2,0	3,0	3,0	2,0	3,0
Poliéster Elastomérico	**3,7**	2,0	4,0	5,0	4,0	3,0	4,0

Tabela 68 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê de Controle – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa, Base e Carretel de Relê

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Alta Temp. de Def. Calor**	20%
2	**Constante Dielétrica**	20%
3	**Alto Impacto Izod**	20%
4	**Alto Índice de Temp. UL**	15%
5	**Alta Resist. Química**	15%
6	**Bx. Absorção Umidade**	10%

		Valores:	*1= Fraco 5= Forte*				
Plástico de Engenharia	**Média, Notas & Pesos**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Nylon sem Reforço	**3,3**	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	2,0
Nylon Reforçado	**3,7**	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0
Nylon Carregado	**3,0**	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Poliacetal	**3,3**	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0
Poliéster Híbrido	**3,8**	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0
Policarbonato	**3,1**	3,0	3,0	5,0	3,0	1,0	3,0
ABS Média Viscosidade	**2,2**	2,0	2,0	3,0	2,0	1,0	3,0
Polipropileno Carregado	**2,4**	2,0	2,0	3,0	2,0	2,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**3,5**	2,0	4,0	5,0	3,0	3,0	4,0

Tabela 69 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (Kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,5**	3,3	3,3
Nylon Reforçado	**0,5**	3,6	3,7
Nylon Carregado	**0,5**	3,3	3,0
Poliacetal	**0,3**	3,3	3,3
Poliéster Híbrido	**0,5**	3,8	3,8
Policarbonato	**0,5**	3,3	3,1
ABS Média Viscosidade	**0,1**	1,7	2,2
Polipropileno Carregado	**0,5**	2,5	2,4
Poliéster Elastomérico	**0,1**	3,7	3,5

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Capa, Base e Carretel de Relê
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 na Área do Carro (Kg)

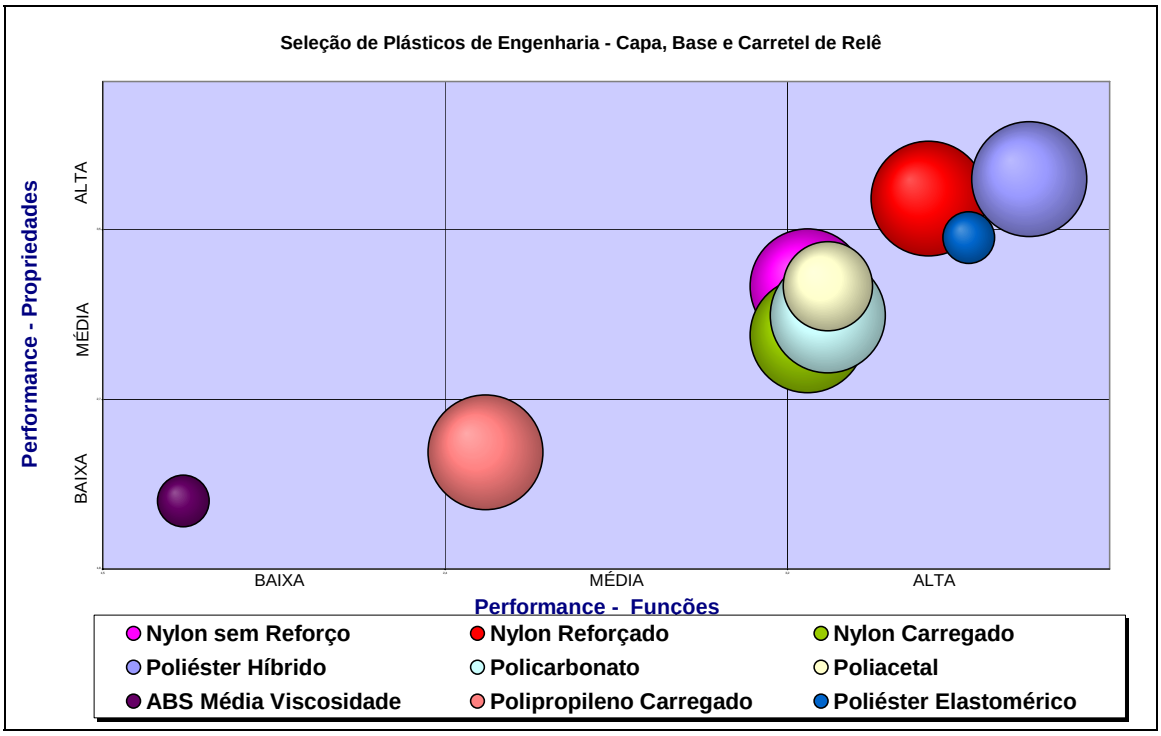


Gráfico 11 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Capa, Base e Carretel de Relê de Controle

5.4.2 Conectores Internos do Painel

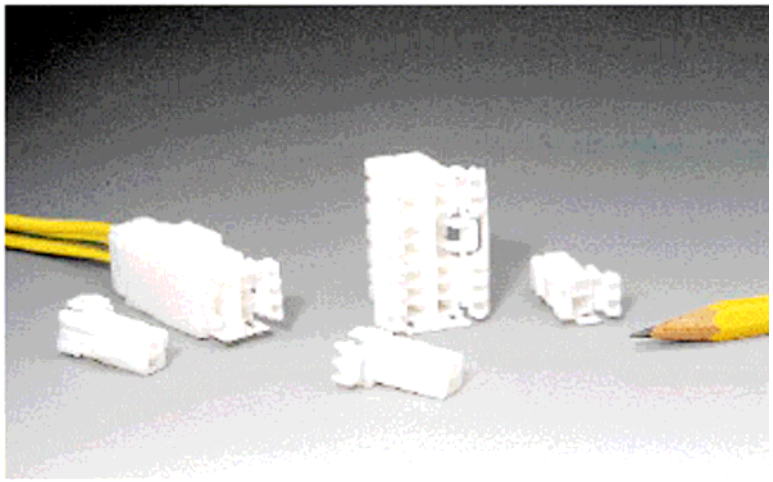


Figura 42 – Conectores internos do painel

Analogamente, às análises anteriores, para estes conectores, caracterizados no grupo de componentes eletro-automotivos e de uso no habitáculo interno, a metodologia empregada utiliza como premissas, as funções-propriedades relativas ao interior do veículo, acrescidas da função prover isolamento elétrico. O resultado sugerido pelo método, conduz a um plástico de engenharia da família dos Nylons, do tipo sem reforço (Tabelas 70 a 73 e Gráfico 12). Na prática, há coincidência, tanto na família como no tipo (Tabelas 78 e 79).

Tabela 70 – Necessidades do componente: Conectores internos do painel

1. Ambiente	Esse conjunto de conectores internos tem a função de unir os cabos e fios eletrificados pela bateria aos sistemas de comando elétrico no painel do automóvel. O corpo desses conectores atua como isolante elétrico, contra umidade, e ainda proporciona proteção mecânica. As temperaturas presentes nesta área variam com a região geográfica onde o veículo circulará, portanto devendo suportar temperaturas entre –40°C e +85°C.
2. Principais funções	Prover Isolamento Elétrico (20%); Resistir à Chama (20%); Resistir ao Estiramento (20%); Prover Flexibilidade (20%); Prover Estabilidade Dimensional (10%); Suportar Montagem (10%).
3. Principais propriedades	Constante Dielétrica / Resistividade Volumétrica (20%); UL 94 V-2 Mínima (20%); Resistência à Tração (20%); Alto Alongamento na Ruptura (20%); Baixa Absorção de Umidade (10%); Módulo de Flexão (10%).
4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** Os conectores devem ter superfícies preferencialmente lisas, com espessuras de paredes aliviadas (redução de massa, redução de ciclo, menor empenamento e contração homogênea), também deverá ser resistente à tração, e resistir a vibrações constantes durante o funcionamento do automóvel. Os terminais dos conectores, como são encaixados sob interferência, devem ser dimensionados de maneira a deformar levemente o corpo do conector, sem promover o rompimento do seu alojamento, mas garantindo que os terminais não escapem do mesmo. **Considerações de Desenho:** O cuidado no desenho desses conectores diz respeito à homogeneidade das paredes, para garantir contração homogênea e, portanto, menor empenamento. Os alojamentos que conterão os terminais devem ser desenhados para sofrer deformação, sem, no entanto, romperem-se. **Considerações de Processamento:** Cuidados no processamento para componentes que devem apresentar equilíbrio entre tenacidade e rigidez: molde aquecido – entre 80°C a 90°C, secagem do material, e tempo de residência no cilindro injetor.

continua

conclusão

5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Homogênea, exibindo acabamento de superfície liso. **Aspecto Superficial:** Ausência de manchas e nuvens, provendo uma superfície plana e rígida. **Transparência:** Componentes opacos e coloridos em alguns casos (para facilitar instalação elétrica).
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Os componentes elétricos em geral são considerados de segurança e o desempenho dielétrico sempre prevalece sobre uma eventual modesta, economia na seleção do material. **Ecológicos:** Os componentes aqui descritos podem ser totalmente reciclados pela simples moagem das possíveis peças incompletas ou refugos e utilizada numa base de até 40%, na mistura com o material virgem. **Redução de Peso (prover leveza):** Devido às dimensões pequenas dos conectores, o fator peso não é característica fundamental na escolha do material.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Nylon sem Reforço.
8. Material selecionado na prática	Nylon 66 sem Reforço.

Tabela 71 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos – Funções

Seleção de Plásticos de Engenharia - Conectores Internos

X: Performance - Funções

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Resist. Volumétrica**	20%
2	**UL 94**	20%
3	**Alta Resist. à Tração**	20%
4	**Alto Along. na Ruptura**	20%
5	**Alta Resist. Química**	10%
6	**Menor Custo Relativo**	10%

Plástico de Engenharia	Média, Notas & Pesos	*Valores: 1= Fraco 5= Forte* 1	2	3	4	5	6
Nylon sem Reforço	**3,1**	3,0	3,0	3,0	4,0	2,0	3,0
Nylon Reforçado	**2,7**	3,0	3,0	4,0	1,0	3,0	2,0
Nylon Carregado	**2,6**	3,0	3,0	2,0	2,0	4,0	2,0
Poliacetal	**2,5**	3,0	1,0	4,0	2,0	3,0	2,0
Poliéster Híbrido	**2,6**	4,0	2,0	3,0	1,0	4,0	2,0
Policarbonato	**3,2**	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,4**	2,0	2,0	2,0	2,0	4,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,3**	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**3,1**	4,0	2,0	2,0	5,0	4,0	1,0

Tabela 72 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos – Propriedades

Seleção de Plásticos de Engenharia - Conectores Internos

Y: Performance - Propriedades

Fator	Principais Propriedades	% de Importância
1	**Resist. Volumétrica**	20%
2	**UL 94**	20%
3	**Alta Resist. à Tração**	20%
4	**Alto Along. na Ruptura**	20%
5	**Alta Resist. Química**	10%
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	**3,6**	3,0	4,0	4,0	4,0	3,0	3,0
Nylon Reforçado	**3,2**	3,0	4,0	5,0	1,0	4,0	2,0
Nylon Carregado	**3,0**	3,0	4,0	3,0	2,0	3,0	3,0
Poliacetal	**2,7**	3,0	1,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Poliéster Híbrido	**2,9**	4,0	2,0	5,0	1,0	3,0	2,0
Policarbonato	**3,1**	3,0	4,0	3,0	4,0	1,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,1**	2,0	2,0	2,0	2,0	1,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,3**	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0
Poliéster Elastomérico	**3,0**	4,0	2,0	2,0	5,0	3,0	1,0

Tabela 73 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (Kg)	Performance - Funções	Performance - Propriedades
Nylon sem Reforço	**0,5**	3,3	3,6
Nylon Reforçado	**0,5**	3,1	3,2
Nylon Carregado	**0,5**	3,0	3,0
Poliacetal	**0,3**	2,7	2,7
Poliéster Híbrido	**0,5**	3,0	2,9
Policarbonato	**0,5**	3,1	3,1
ABS Média Viscosidade	**0,1**	2,3	2,1
Polipropileno Carregado	**0,5**	2,4	2,3
Poliéster Elastomérico	**0,1**	3,1	3,0

Qual o título do Gráfico de Bolas ?	Seleção de Plásticos de Engenharia - Conectores Internos
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 na Área do Carro (Kg)

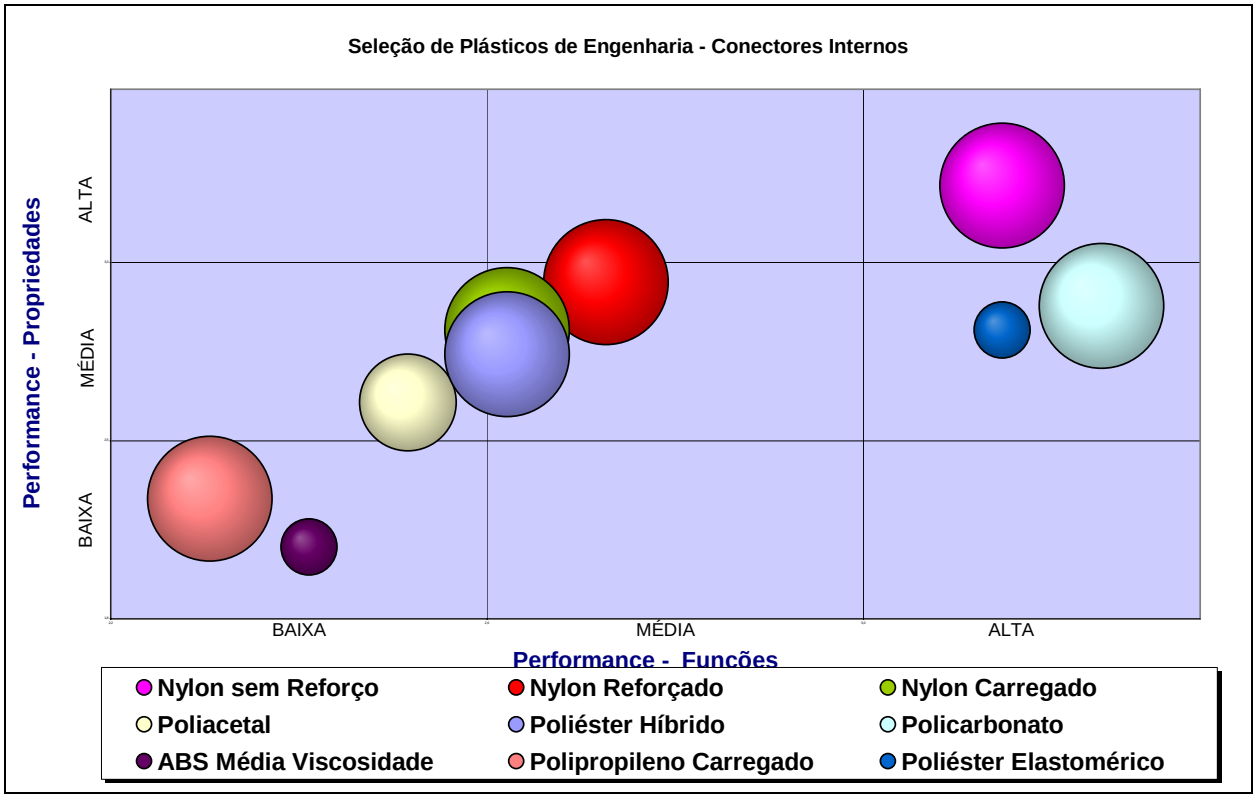


Gráfico 12 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conectores Internos

5.5 Simulação–Conceito de Componente Automotivo em Plástico de Engenharia

Das doze simulações em processo, apenas uma considera um componente conceitual, ou seja, não existente, a saber a capa da engrenagem de transmissão (Figura 43). A idéia é demonstrar que a metodologia, sendo eficaz e validada pelos resultados das simulações para as peças existentes, a mesma possa ser empregada para qualquer análise de seleção de plásticos de engenharia para peças conceituais. Desta forma, um componente conceitual, é suficiente para demonstrar o método aqui proposto.

5.5.1 Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão

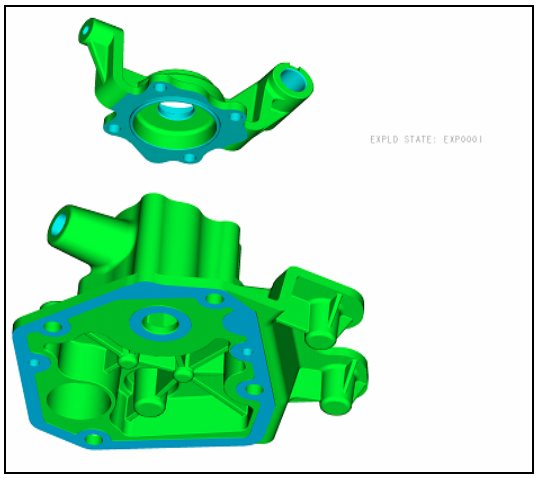


Figura 43 – Conjunto capa plástica da engrenagem de transmissão

5.5.2 Motivação para produção da peça em plástico de engenharia

O sistema de engrenagem da transmissão possui a capa usinada em aço atualmente. Entretanto, dado o grande número de operações no processo produtivo e montagem, além do elevado peso da peça, necessidade de produção em massa, e alto custo final, justifica-se plenamente a alteração do material original deste componente, para um equivalente em plástico de engenharia.

Pode-se, desta forma, aplicar para este componente metálico o programa de seleção de plásticos de engenharia baseado nos critérios de propriedades (imediatas e de uso contínuo) combinadas com as funções esperadas para o mesmo.

A metodologia de seleção considera, no caso da capa da engrenagem de transmissão, que esta deva trabalhar num semi-região, intermediária (habitáculo interno e assoalho do automóvel), desta forma, deve-se considerar as premissas de funções-propriedades do habitáculo interno de uma maneira mais cuidadosa, onde funções como Prover Rigidez e Suportar Vibrações/Choques,

sejam consideradas mais importantes. Na seqüência da aplicação da metodologia, análoga aos componentes existentes, o processo dirige a escolha para a família dos Nylons e do tipo reforçado, porém registra um empate técnico com o poliéster híbrido (Tabelas 74 a 77 e Gráfico 13). Assim, uma análise mais refinada faz-se necessária (elementos finitos, envolvendo o componente simulados em ambos os plásticos – Nylon reforçado e poliéster híbrido), e um protótipo obtido, com o molde usinado para poliéster híbrido (contrações próximas, e maior precisão na usinagem da cavidade no caso do poliéster), mas que em última análise serviria também para injetar o componente em Nylon reforçado.

Tabela 74 – Necessidades do componente: conjunto capa plástica da engrenagem de transmissão

1. Ambiente	O sistema de engrenagem da transmissão funciona na semi-região, entre o habitáculo interno e o assoalho do automóvel, sob condições que combinam suportar vibrações e choques mecânicos, rigidez do sistema, com estabilidade dimensional (superfícies planas) e sujeição a esforços (cargas externas), além do contato com óleos e graxas. Desse modo, temperaturas entre -40°C e +80°C devem ser consideradas, e combinadas com propriedades como alto módulo de flexão, alta resistência ao impacto, alta resistência à flexão e resistência química. Deve ainda proporcionar uma perfeita montagem à caixa de transmissão.
2. Principais funções	Prover Rigidez e Suportar Montagem (20%); Suportar Vibrações / Choques (20%); Prover Estabilidade Dimensional (20%); Resistir aos Combustíveis e Óleos (15%); Suportar Cargas (15%); Reduzir Custos (10%).
3. Principais propriedades	Alto Módulo de Flexão (20%); Alta Resistência ao Impacto Izod (20%); Baixa Absorção de Umidade e Baixa Contração na Moldagem (20%); Alta Resistência Química (15%); Alta Resistência à Fluência (15%); Menor Custo Relativo (10%).

continua

conclusão

4. Considerações estruturais, de desenho e processamento	**Considerações Estruturais:** O conjunto da capa da engrenagem de transmissão deve possuir espessuras homogêneas (evitando-se empenamento de superfície, devido às diferenças de contrações – maiores nas secções de maior espessura). O conjunto capa necessitará exibir alto desempenho mecânico, assim, a presença de elementos de reforço como nervuras e aletas (aumento da resistência mecânica geral), além de insertos metálicos (áreas de fixação de parafusos e rebites) são essenciais para garantir a melhor performance do sistema. **Considerações de Desenho:** Além da rigidez do sistema e alta estabilidade dimensional, o bom desenho deve zelar pela geometria que garanta a melhor resistência mecânica geral (ao longo de toda, a superfície), devendo ainda suportar e conter outros sistemas. **Considerações de Processamento:** os componentes devem ser injetados em moldes com cavidades aquecidas (90 a 100°C), assim como os insertos metálicos devem também estar às mesmas temperaturas, proporcionando rigidez, ciclos constantes, repetibilidade de medidas, e contrações balanceadas (entre as secções transversais e longitudinais).

conclusão

5. Considerações ligadas à aparência, aspecto superficial ou transparência	**Aparência:** Homogênea, exibindo acabamento de superfície lisa e plana na região de contato com a caixa da engrenagem. **Aspecto Superficial:** Ausência de migrações de aditivos ou reforços (fibras e cargas presentes no material) na superfície do componente. **Transparência:** Componentes opacos.
6. Fatores econômicos, ecológicos ou de redução de peso	**Econômicos:** Reduzir custos (usinagem e montagem), provendo componentes de excelente performance mecânica (suportar cargas e vibrações), aliado a um ciclo de moldagem baixo. **Ecológicos:** O conjunto da capa pode ser totalmente reciclado, pela simples moagem das possíveis peças incompletas ou refugos e utilizada numa base de até 20%, na mistura com o material virgem. Os insertos metálicos (parafusos e rebites) devem ser separados do componente plástico na reciclagem. **Redução de Peso (prover leveza):** Desejável, já que além de minimizar o peso, diminui a carga sobre o conjunto suspensão (aumentando o seu ciclo de vida), e ainda proporciona um componente de baixo custo.
7. Resultado obtido via Matriz de Decisão	Poliéster Híbrido ou Nylon Reforçado.
8. Material selecionado na prática	Nenhum ainda, por tratar-se de componente em desenvolvimento (conceito).

Tabela 75 – 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

Fator	Principais Funções	% de Importância
1	**Pr. Rig. e Sup. Montagem**	20%
2	**Suportar Vibr./Ch. Mec.**	20%
3	**Pr. Estab. Dimensional**	20%
4	**Resistir a Deterg./Solv.**	15%
5	**Suportar Cargas**	15%
6	**Reduzir Custos**	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	**3,1**	3,0	3,0	4,0	3,0	3,0	2,0
Poliacetal	**3,3**	4,0	3,0	3,0	4,0	3,0	2,0
Poliéster Híbrido	**3,6**	4,0	3,0	4,0	4,0	4,0	2,0
Policarbonato	**2,7**	3,0	4,0	4,0	1,0	1,0	2,0
ABS Média Viscosidade	**2,3**	2,0	2,0	4,0	1,0	1,0	4,0
Polipropileno Carregado	**2,8**	3,0	3,0	3,0	2,0	2,0	4,0
Poliéster Elastomérico	**3,2**	2,0	5,0	4,0	3,0	3,0	1,0

Tabela 76 – Matriz 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
Poliacetal	**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 77 – Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conceito: Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão – Resumo

Plástico de Engenharia	Volume Estimado na Área do Carro (kg)	Performance - Funções	Performance - 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
Poliacetal	**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 na Área do Carro (kg)

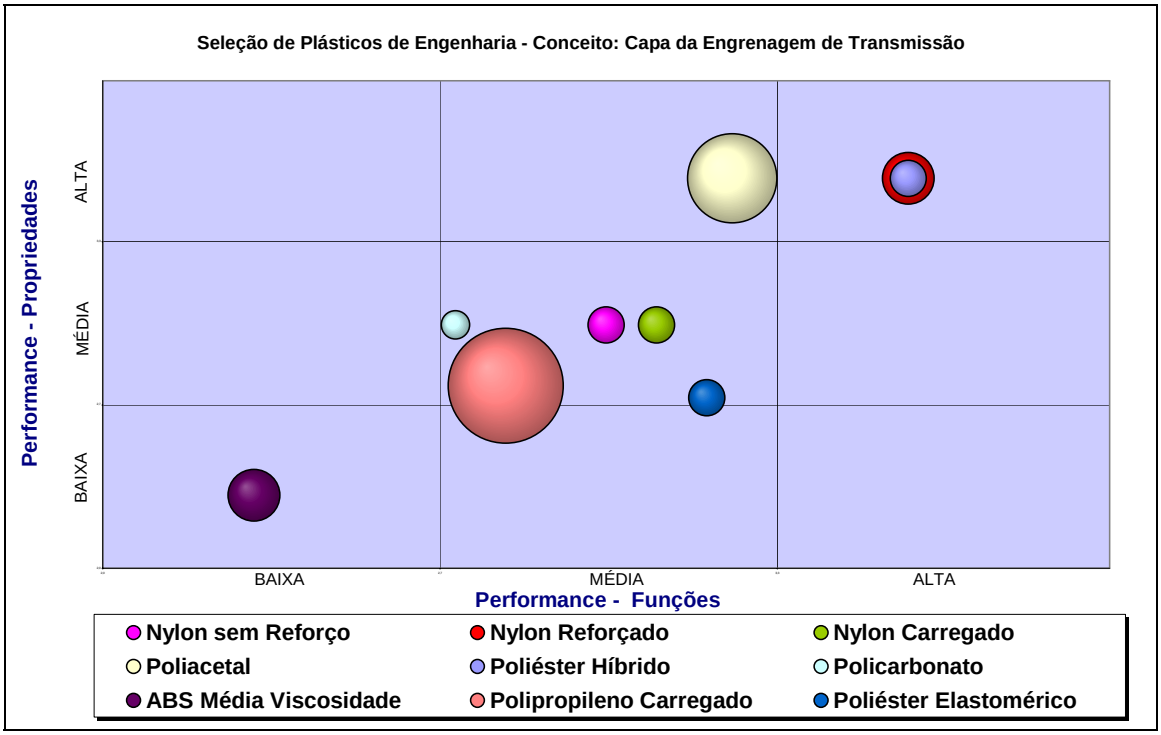


Gráfico 13 - Matriz de Decisão (Programa de Seleção de Plásticos de Engenharia) – Conjunto Capa Plástica da Engrenagem de Transmissão

5.6 Resultados e Discussão

Elaborou-se uma tabela comparativa norteando as doze simulações (Tabela 78 – Resumo dos resultados das simulações) realizadas 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, analisam-se os resultados simulados considerados sob ligeiro desvio sobre os resultados práticos:

1- Máscara e Moldura do Conjunto do Farol: O resultado simulado obtido foi para o Poliéster Híbrido, que alcançou 3,6 pontos nas Funções Operacionais e 3,4 pontos para o Conjunto de Propriedades (imediatas e de uso contínuo). O resultado prático apresentou como material selecionado o Poliéster de Alto Fluxo, ou seja, um tipo de material que pertence a mesma família de plástico, mas que possui como característica adicional, ter

um fluxo melhorado. No caso desta aplicação, a função mais relevante é a facilidade de aceitar metalização, sem se deformar à temperaturas elevadas durante esse processo de decorativo.

2- Capa Deslizadora do Cinto de Segurança: O resultado simulado obtido foi para o Poliacetal, que alcançou 3,4 pontos nas Funções Operacionais e 3,8 pontos para o Conjunto de Propriedades (imediatas e de uso contínuo). O resultado prático apontou como material selecionado o Poliacetal Estabilizado aos Raios Ultra Violeta, ou seja, um material que pertence a mesma família de plástico, mas que possui como diferencial, ter uma quantidade extra de absorvedor de Raios Ultra Violeta.

Em alguns casos, como na Base do Espelho Lateral, o Nylon reforçado teve maior pontuação, entretanto o poliéster híbrido ficou muito próximo. Neste caso, qualquer dos dois produtos poderia 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).

Em dois casos de componentes muito semelhantes (conectores internos e capa e base de relê), na região eletro-automotivos , as simulações implicaram escolhas de plásticos de engenharia diferentes. Isto porque o conector de Nylon sem reforço, escolhido no primeiro caso se encontra no habitáculo interior (cabine de passageiros), enquanto o conjunto da capa e base do relê em poliéster híbrido, encontra-se no habitáculo do motor. Assim os fatores, que geram as diferenças de escolha, são as condições menos hostis presentes no habitáculo interno do que na região do motor (elevadas cargas sob calor , necessitando de módulo de flexão e temperatura de deflexão ao calor maiores do que no interior do veículo).

Outrossim, existem casos onde a vantagem é muito larga para determinados materiais, como na seleção das Lentes do Conjunto do Farol, onde o Policarbonato por sua transparência aparece com pontuação muito maior que os outro plásticos de engenharia (4,2 para as funções operacionais e 4,0 para o conjunto de propriedades), e na Capa do 'Air-Bag' onde o Poliéster Elastomérico obtém pontuação expressiva (4,0 para as funções operacionais e 4,2 para o conjunto de propriedades) devido principalmente às suas funções operacionais de prover flexibilidade e minimizar ruídos (correlatas à propriedade de alongamento na ruptura), mesmo sendo o material mais caro, entre todos avaliados.

A última discussão relevante obtida dos resultados da seleção eletrônica realizada, diz respeito, 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.

Tabela 78 – Resumo dos resultados das simulações (notas destacadas para o plástico selecionado)

Áreas	Material	Nylon sem Reforço		Nylon Reforçado		Nylon Carregado		Poliacetal		Poliéster Híbrido		Policarbonato		ABS Média Viscosidade		Polipropileno Carregado		Poliéster Elastomérico		Escolha Prática
	Componente	Func.	Propr.	Func.	Propr.	Func.	Propr.	Func.	Propr.	Func.	Propr.	Func.	Propr.	Func.	Propr.	Func.	Propr.	Func.	Propr.	
Exteriores	Base da Portinhola do Tanque de Combustível	**3,7**	**3,4**	2,7	2,6	2,8	2,6	2,9	3,2	2,6	2,5	2,6	2,7	2,1	2,2	2,6	2,6	3,4	3,3	Nylon sem Reforço
	Lentes do Conjunto do Farol	2,7	3,0	2,7	2,7	2,2	2,5	2,7	2,4	2,8	2,6	**4,2**	**4,0**	2,1	2,3	2,0	2,3	2,4	2,6	Policarbonato
	Máscara e Moldura do Conjunto do Farol	3,0	3,3	2,7	3,2	2,6	3,2	2,9	3,0	**3,6**	**3,4**	3,2	3,1	3,3	2,8	2,7	2,9	2,1	2,4	Poliéster Alto-Fluxo
	Haste do Limpador de Pára-brisas Traseiro	3,5	3,2	3,5	3,5	3,2	3,0	3,7	3,4	**3,7**	**3,7**	3,1	2,9	1,8	2,2	2,7	2,5	2,8	2,8	Poliéster Híbrido
	Base do Espelho Lateral	3,2	3,2	**3,6**	**3,6**	2,7	3,0	3,6	3,4	3,5	3,5	3,6	3,3	2,5	2,6	0,3	2,6	2,6		Nylon Reforçado com 30% Fibra de Vidro
Motor	Galeria de Combustível	3,2	3,0	**3,6**	**3,8**	3,3	3,0	3,2	3,0	3,6	3,6	2,9	3,1	2,2	2,4	2,7	2,5	3,1	2,6	Nylon 66 reforçado com 30% Fibra de Vidro
	Módulo Frontal para Sistemas	3,2	3,1	**3,7**	**3,8**	3,2	3,0	3,3	3,1	3,6	3,6	3,0	3,2	2,2	2,4	2,8	2,5	3,0	2,5	Nylon 66 Reforçado com 30% de Fibra de Vidro
Interiores	Capa Deslizadora do Cinto de Segurança	3,2	2,9	3,0	3,1	3,2	3,0	**3,4**	**3,8**	3,5	3,4	3,1	3,2	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	3,0	Poliacetal estabilizado aos Raios U.V.
	Capa do Air-Bag	3,3	3,3	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	3,1	2,7	2,7	4,0	3,6	2,8	2,6	2,6	2,9	**4,0**	**4,2**	Poliéster Elastomérico e Poli-Uretano
Eletro-Aut	Capa, Base e Carretel de Relê	3,3	3,3	3,6	3,7	3,3	3,0	3,3	3,3	**3,8**	**3,8**	3,3	3,1	1,7	2,2	2,5	2,4	3,7	3,5	Poliéster Híbrido
	Conectores Internos	**3,1**	**3,6**	2,7	3,2	2,6	3,0	2,5	2,7	2,6	2,9	3,2	3,1	2,4	2,1	2,3	2,3	3,1	3,0	Nylon 66 sem Reforço
Conceito	Capa da Engrenagem de Transmissão	3,0	3,0	**3,6**	**3,6**	3,1	3,0	3,3	3,6	**3,6**	**3,6**	2,7	3,0	2,3	2,3	2,8	2,8	3,2	2,7	Componente em desenvolvi-mento (conceito)

Tabela 79 – Resumo do desempenho da metodologia proposta

Áreas	Itens da Seleção Componente	Componente Existente	Família sugerida pelo método	Tipo sugerido pelo método	Escolha Prática	Acerto na Família	Acerto no Tipo
Exteriores	Base da Portinhola do Tanque de Combustível	Sim	Nylon	Nylon sem Reforço	Nylon sem Reforço	Sim	Sim
	Lentes do Conjunto do Farol	Sim	Policarbonato	Policarbonato	Policarbonato	Sim	Sim
	Máscara e Moldura do Conjunto do Farol	Sim	Poliéster	Poliéster Híbrido	Poliéster Alto-Fluxo	Sim	Não
	Haste do Limpador de Pára-brisas Traseiro	Sim	Poliéster	Poliéster Híbrido	Poliéster Híbrido	Sim	Sim
	Base do Espelho Lateral	Sim	Nylon	Nylon Reforçado	Nylon Reforçado	Sim	Sim
Motor	Galeria de Combustível	Sim	Nylon	Nylon Reforçado	Nylon Reforçado	Sim	Sim
	Módulo Frontal para Sistemas	Sim	Nylon	Nylon Reforçado	Nylon Reforçado	Sim	Sim
Interiores	Capa Deslizadora do Cinto de Segurança	Sim	Poliacetal	Poliacetal	Poliacetal Estabilizado U.V.	Sim	Não
	Capa do Air-Bag	Sim	Poliéster	Poliéster Elastomérico	Poliéster Elastomérico	Sim	Sim
Eletro-Auto	Capa, Base e Carretel de Relê	Sim	Poliéster	Poliéster Híbrido	Poliéster Híbrido	Sim	Sim
	Conectores Internos	Sim	Nylon	Nylon sem Reforço	Nylon sem Reforço	Sim	Sim
Conceito	Capa da Engrenagem de Transmissão	Não	Nylon	Nylon Reforçado	A Definir	Sim	A Definir
Resumo Estatístico	Compenentes Existentes:	11					
	Componente Conceito:	1					
	Total de Simulações:	12					
	% Acerto nas Famílias:	100%	(11 casos em 11)				
	% Acerto nos Tipos Exatos:	82%	(2 casos em 11)				

6 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 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 Xenontest).

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.

7 SUGESTÃO PARA OS PRÓXIMOS TRABALHOS

- A partir da ferramenta eletrônica, agregar outras ferramentas mais elaboradas e que possam ser utilizadas como critérios de seleção (ex: MoldFlow, Elementos Finitos, CAE, etc);

- Impacto no custo de desenvolvimento de produtos, pelo uso de critérios de seleção de plásticos de engenharia via ferramenta eletrônica de baixo custo;

- Inclusão de uma ferramenta de custo industrial o processo de seleção de plásticos via ferramenta eletrônica;

- Rompimento da subjetividade em processos de seleção de plásticos como um todo (englobando materiais chamados 'commodities') e estendendo os critérios mais objetivos aos outros materiais (metálicos, vítreos, e etc.) na indústria automobilística brasileira;

- Desenho de um curso de Critério de Seleção de Materiais em Geral para engenheiros de outras especialidades;

- Desenvolvimento de Critérios de Seleção de Materiais via ferramenta eletrônica para componentes da outros segmentos mercado, por exemplo: eletrônica, mecatrônica e etc.;

REFERÊNCIAS

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

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

DESIGNING WITH PLASTICS, Design News, 03.07.2005. Disponível em: http//www.solvayadvancedpolymers.com . Acesso em: 10 de fevereiro de 2006.

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.

INDUSTRIAL APPLICATIONS – COPYRIGHT © 2005 – GENERAL ELECTRIC COMPANY. Disponível em: http//www.geplastics.com/gep/en/industryapplications/industrialdetail/auomtotive.htm Acesso em: 13 de fevereiro de 2006.

MARKET AUTOMOTIVE – COPYRIGHT © 1995-2006 TICONA. Disponível em: http//www.ticona.com/index/markets/auto.htm. Acesso em: 11 de fevereiro de 2006.

MARKETS : AUTOMOTIVE SEGMENT – COPYRIGHT © 2006 RHODIA . Disponível em: http//www.Rhodia.ep.com/index/markets/auto.htm. Acesso em: 13 de fevereiro de 2006.

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. Copyrigth 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. Acesso em: 20 de junho de 2006.

PRODUCTS AND SERVICES – AUTOMOTIVE ENGINEERING – COPYRIGHT 2004 – BASF Aktiengesellschaft – Disponível em : www2.basf.de. Acesso em : 27 de março 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. Acesso em: 25 de março de 2006.

RENAUD MICHEL, Introduction to Material Selection Rev. 2a – Dupont Engineering Polymers – European Technical Centre – Geneve, May 2005.

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. Acesso em: 15 de novembro de 2005.

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