

# CONSIDERAÇÕES PARA DESIGN DE PEÇAS PLÁSTICAS<sup>1</sup>

Walter Atolino<sup>2</sup>  
Augusto Dornelles Filho<sup>3</sup>

## Resumo

Ferramentas para materiais plásticos devem levar em conta diversos fatores que os diferenciam da confecção de ferramentas para materiais metálicos. Mesmo entre os plásticos existem diferenças importantes dependendo de sua estrutura molecular (materiais cristalinos ou amorfos). Os plásticos de engenharia cristalinos (dos quais os Nylons e Poliésteres são alguns dos mais conhecidos) constituem uma classe importante de materiais de uso diário. O trabalho a seguir baseia-se na larga experiência da DuPont em suporte técnico no desenvolvimento de componentes plásticos substituindo metais. São enumeradas no trabalho, algumas recomendações básicas a serem consideradas no processo de desenvolvimento de moldes de injeção e componentes plásticos.

**Palavras-chave:** Ferramentas; Moldes para plásticos; Plásticos de engenharia; Plásticos versus metais.

## DESIGN CONSIDERATIONS FOR PLASTIC PARTS

## Abstract

Injection tools for plastics should take in account several factors that differentiate the parts conception for polymers versus metals. Even among plastics there are important differences and very dependent on the molecular structure. Engineering plastics (among them Nylons and Polyesters) belong to a very important class of materials largely used. Some basic recommendations are listed in this paper, in order to support the injection moulds development and plastic parts design.

**Key words:** Engineering Plastics; Moulds for plastics; Plastics versus metals; Tools.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 6º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 20 a 22 de agosto de 2008, São Paulo, SP*

<sup>2</sup> *Engenheiro de Materiais Gerente de Marketing para a área automotiva da DuPont Polímeros de Engenharia.*

<sup>3</sup> *Mestre em Engenharia Automotiva. é Gerente de Marketing, Vendas e Desenvolvimento de mercado na área de plásticos de engenharia.*

## 1 INTRODUÇÃO

A idéia deste trabalho parte do pressuposto que a maioria dos projetos de desenvolvimento de componentes ou peças plásticas atuais tem como base partes metálicas. Entretanto, dada a diferença entre estes materiais, as suas tecnologias de fabricação, pertencem a esferas distintas de conhecimentos.

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

“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 (especialmente no que se refere à tecnologia de construção de moldes), 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”.<sup>(1)</sup>

O contínuo desenvolvimento dos processos por injeção de plásticos acaba por exigir mais conhecimento dos moldadores sobre a tecnologia e desenho para confecção de moldes para plásticos de engenharia: “O maior problema no processo de injeção é indubitavelmente o desenho do molde de injeção... Processos produtivos eficazes da maioria das peças técnicas injetadas dependem primariamente do molde de injeção”.<sup>(2)</sup>

Como a produção é cada vez maior, moldes para um milhão de peças são bastante comuns. Assim, moldes com cavidades tratadas para proporcionar durezas elevadas devem ser previstas, notadamente para aqueles plásticos de engenharia reforçados com fibras de vidro, por exemplo. Basicamente, um molde de injeção é construído em duas metades, a parte fixa e a parte móvel: a primeira alojando uma placa suporte, uma placa porta-cavidades superior, que por sua vez alojam a bucha de injeção e o sistema de canais de distribuição (chamados de canais de injeção), e a segunda contendo uma placa porta-extratores (sistema de extração ou expulsão das peças) e uma placa porta-cavidades inferior. Com a grande expansão de peças obtidas pelo sistema de injeção, o uso de moldes padrões (porta-moldes) tornou-se quase uma unanimidade, já que a maior responsabilidade pela qualidade das peças injetadas reside em suas cavidades.

Este trabalho, dada a vastidão do tema, concentra-se às considerações pertinentes ao desenho das cavidades, com vistas à maximização da qualidade e homogeneidade das peças injetadas, assim como a redução dos ciclos de injeção. Para tanto, inicialmente discorre-se sobre as diferenças mais acentuadas entre plásticos e metais (dado ao caráter mais freqüente da utilização de peças plásticas: a substituição de peças metálicas em diversos segmentos industriais), passando-se pela seleção de materiais plásticos, onde se enfatiza os vários aspectos relacionados à melhor escolha.

“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 grande demanda de familiaridade com suas necessidades ambientais, determinando as funções particulares, e desempenho a curto e longo prazos”.<sup>(1)</sup>

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 e ainda se ater às composições presentes entre os diversos plásticos (por exemplo, a adição de fibras de vidro como reforço). Sem se desconsiderar a competitividade econômica, embora subordinada à qualidade total da peça.

A partir deste ponto, o trabalho concentra-se na tecnologia de desenho das cavidades e por conseqüência das peças, visando à obtenção de qualidade constante ao longo da produção. Assim, aspectos ligados à espessura da peça (homogeneidade de espessuras garantindo tolerâncias, minimizando empenamento, diminuindo ciclos e custos entre outros pontos), às nervuras e aletas (aumento da resistência mecânica geral, especialmente rigidez, e ainda propiciando diminuição de massa da peça etc.), à localização do ponto de injeção (onde se discute aspectos ligados ao preenchimento da cavidade, qualidade superficial das peças, manutenção de tolerâncias e etc.).

Em seguida, o foco é fixado na questão econômica, visando à redução geral de custos das peças, enfim revisitando-se vários dos temas tratados anteriormente e avançando em alguns. Assim, os seguintes aspectos fazem parte desta secção:

- Integração de múltiplas funções: redução do número de peças.
- Utilização de técnicas de montagem de baixo custo: encaixes de pressão, soldagem por ultra-som, colagem, e etc.
- Eliminação de tratamento superficial/ pintura: cor integrada, resistência química propiciada pela própria superfície.
- Capacidade de operação a seco – sem lubrificação entre componentes.
- Utilização de materiais nucleados (tempos de ciclo de injeção reduzidos).
- Utilização de moldes de 2 placas, redução no número de partes móveis.
- Utilização de tolerâncias realistas (adequadas ao produto).
- Escolha de materiais de melhor processamento, de menor ciclo, que reduzam o empenamento.
- Obtenção de peças acabadas sem a necessidade de operações de manufatura adicionais.
- Utilização de espessuras adequadas.

Na seqüência, procura-se discutir as técnicas de montagem e soldagem, com o objetivo de esclarecer as diversas alternativas existentes e sua adequação aos componentes plásticos. Essas técnicas de montagem, são classificadas em destacáveis e não destacáveis.

Entre as últimas podemos mencionar:

- Soldagem
- Colagem
- Rebitagem

- Insertos
- Encaixe com ângulo de retenção de 90°

As destacáveis incluem:

- Encaixe com ângulo de retenção menor que 90°
- Montagem por parafusos
- Montagem por pressão

Na conclusão, retorna-se aos vários aspectos discutidos no trabalho, e um guia de procedimentos é proposto, para que os diversos temas tratados sejam facilmente seguidos e lembrados, no momento da concepção e construção das cavidades dos moldes de injeção, e que devem replicar as peças e componentes desejados.

Lembrando-se que peças injetadas de alta qualidade, e economicamente viáveis, necessitam de um projeto criterioso, e de uma análise sistemática da escolha de materiais, projeto, processo e condições de funcionamento, e ainda que, as solicitações em serviço devem ser cuidadosamente analisadas e relacionadas quando se inicia o processo de desenvolvimento do componente plástico.

Desta maneira, ressalta-se também, que apesar de modernas simulações já estarem disponíveis no mercado, seguindo critérios rigorosos, as informações de protótipos testados em condições operacionais reais – ou próximas da realidade – fornecem informações de maior exatidão, que auxiliam sobremaneira a construção das cavidades dos moldes para injeção de plásticos de engenharia, e, portanto, a melhor definição do uso de peças ou componentes em qualquer segmento industrial.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os pontos aqui tratados baseiam-se na experiência da DuPont em suporte técnico no desenvolvimento de peças plásticas x partes metálicas e suas implicações na construção e tecnologia de moldes para tais produtos. Ferramentas para plásticos precisam considerar diversos fatores que os diferenciam das ferramentas para materiais metálicos. Hoje, plásticos de engenharia cristalinos (ex.: Nylon) são usados em todos os segmentos industriais (ex.: automóveis).

A apresentação baseia-se em exemplos práticos tomados da rotina de desenvolvimento de componentes, e considera tópicos de diferenciação entre as tecnologias de construção de moldes para plásticos e metais, como: metais versus plásticos, seleção de materiais e considerações de design (espessura de parede, nervuras e aletas, localização do ponto de injeção, questão econômica: reduzindo os custos e técnicas de montagem e soldagem).

## **3 RESULTADOS**

Pecas injetadas de alta qualidade, e economicamente viáveis, necessitam de um projeto criterioso, e de uma análise sistemática da escolha de materiais, projeto, processo e condições de funcionamento.

Para o projetista seguem os resultados obtidos – resumindo os procedimentos qualitativos observados na construção de cavidades/peças e tratados neste trabalho:

- a- evite acúmulos de material;
- b- procure manter a espessura das paredes uniforme;
- c- projete as paredes, o mais finas e homogêneas possível;
- d- use nervuras e aletas, em substituição a paredes grossas;
- e- utilize áreas de transição de espessura, quando paredes mais grossas são necessárias;

- f- projete raios nos cantos vivos (até 0,5°);
- g- projete treliças para áreas planas;
- h- preveja ângulos de saída para a extração das peças;
- i- evite áreas rebaixadas;
- j- não projete dimensões com tolerâncias acima das necessárias;
- k- projete peças multifuncionais (que substituam funções únicas);
- l- utilize técnicas de montagem econômicas;
- m- projete prevendo desmontagem;
- n- o ponto de injeção deve ser localizado na parede de espessura maior; e
- o- preveja um novo projeto para substituição de peças metálicas.

## 4 DISCUSSÃO

### 4.1 Metais Versus Plásticos

As propriedades básicas dos plásticos contrastam em muito com as dos metais. Em comparação direta, os metais apresentam maior:

- Densidade
- Temperatura de Aplicação.
- Rigidez e Ductilidade.
- Condutividade Térmica e Elétrica.

Os plásticos por outro lado apresentam maiores:

- Tenacidade
- Expansão Térmica
- Alongamento a Ruptura

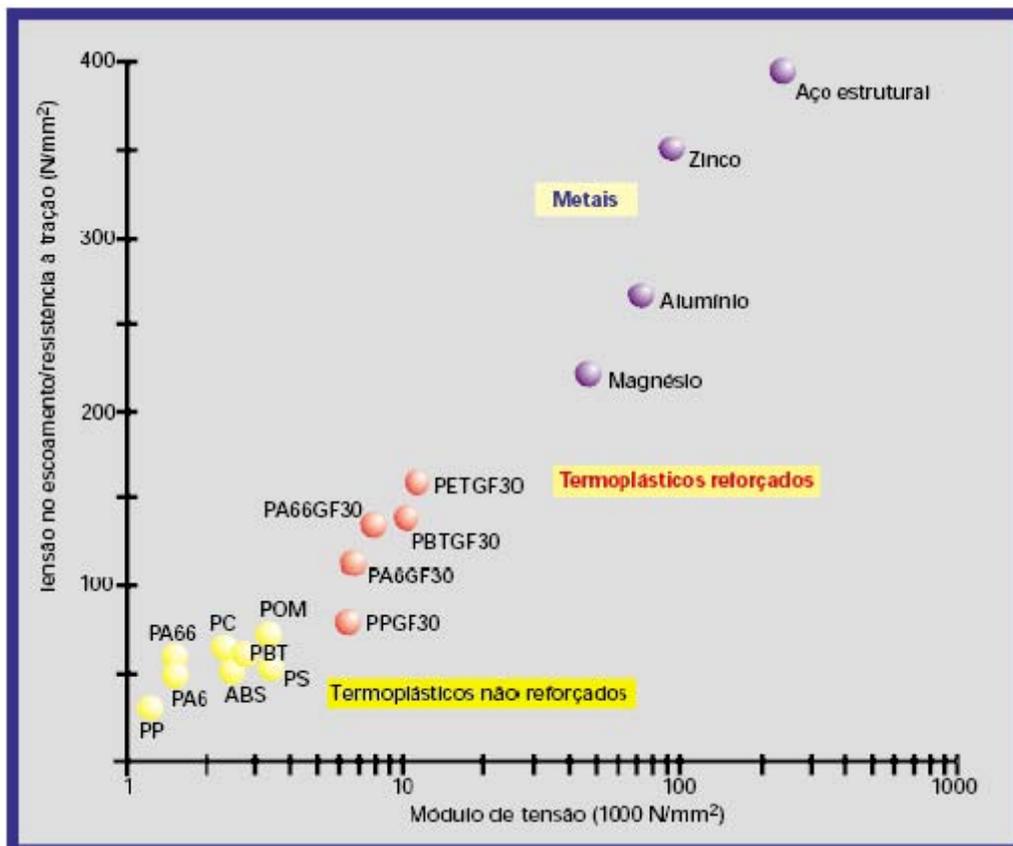


Figura 1. Propriedades comparativas de materiais.

Na fabricação de componentes plásticos é geralmente necessária uma modificação considerável no projeto (comparando o mesmo componente manufaturado em material metálico). Essa situação também oferece a oportunidade de redesenhar parcial ou completamente a peça, com a possível integração de funções, simplificação geométrica e muito provavelmente eliminação de fases de processo produtivo.

Os projetistas de componentes plásticos devem considerar seu comportamento em termos de propriedades imediatas - tais como resistência mecânica, densidade, alongamento etc. E também devem ser consideradas as propriedades de longo prazo ou uso contínuo (fluência, resistência a deformação térmica, envelhecimento acelerado etc.).

Os plásticos apresentam alteração em suas propriedades básicas com o aumento de temperatura que se torna tão mais pronunciada quanto mais próxima a temperatura estiver do ponto de fusão do plástico. Os metais por outro lado apresentam grande estabilidade de propriedades até mesmo em temperaturas próximas de sua recristalização (> 300 °C).

Se a temperatura de aplicação ou a taxa de deformação variar de maneira significativa, o comportamento dos termoplásticos de engenharia, no que concerne à deformação poderá se modificar de rígido e quebradiço para borrachoso-elástico.

Uma tampa de 'air-bag' por exemplo, que no seu funcionamento implica uma abertura explosiva, apresenta um comportamento totalmente diferente de um componente encaixado por interferência (muito mais lento), feito do mesmo material (Figura 2). O efeito da temperatura, neste caso, é significativamente maior sobre a interferência mecânica.

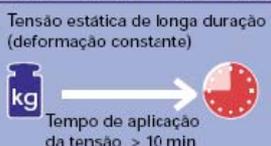
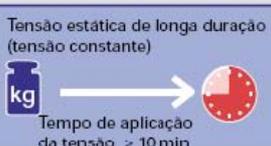
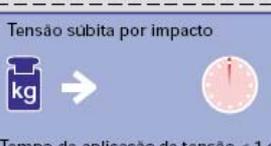
Tipo de solicitação mecânica	Exemplo de aplicação	Efeitos sobre o comportamento na deformação	Características do cálculo
<p>Tensão estática de curta duração</p>  <p>Tempo de aplicação da tensão <math>1\text{ s} &lt; x &lt; 10\text{ min}</math></p>	<p>Fivelas de encaixe</p> 	Capacidade de carga à resistência básica	Gráfico de tensão x deformação Utilizar o módulo secante
<p>Tensão estática de longa duração (deformação constante)</p>  <p>Tempo de aplicação da tensão <math>&gt; 10\text{ min}</math></p>	<p>Encapsulamento de componentes insertos metálicos</p> 	Diminuição da tensão inicial com o tempo (relaxamento)	Gráfico de resistência ao creep Utilizar o módulo de relaxamento
<p>Tensão estática de longa duração (tensão constante)</p>  <p>Tempo de aplicação da tensão <math>&gt; 10\text{ min}</math></p>	<p>Tubulações submetidas a pressões internas</p> 	Aumento da deformação inicial com o tempo (creep)	Gráfico de resistência ao creep Utilizar o módulo de creep
<p>Tensão dinâmica de longa duração</p>  <p>Tensão crescente e decrescente cíclica</p>	<p>Coberturas</p> 	Redução significativa da tensão e deformação de longo prazo	Curva de Wöhler Atenção para a faixa de tensões (por exemplo faixas alternadas de tensão de tração-compressão/ flutuação da faixa de tensão na tração)
<p>Tensão súbita por impacto</p>  <p>Tempo de aplicação da tensão <math>&lt; 1\text{ s}</math></p>	<p>Tampas de airbag</p> 	Materiais borrachosos/ elásticos apresentam comportamentos de deformação de tenaz a frágil	Apenas limitada possibilidade de estimativa por cálculo (testes práticos necessários)

Figura 2. Efeito do tipo da tensão mecânica na deformação.

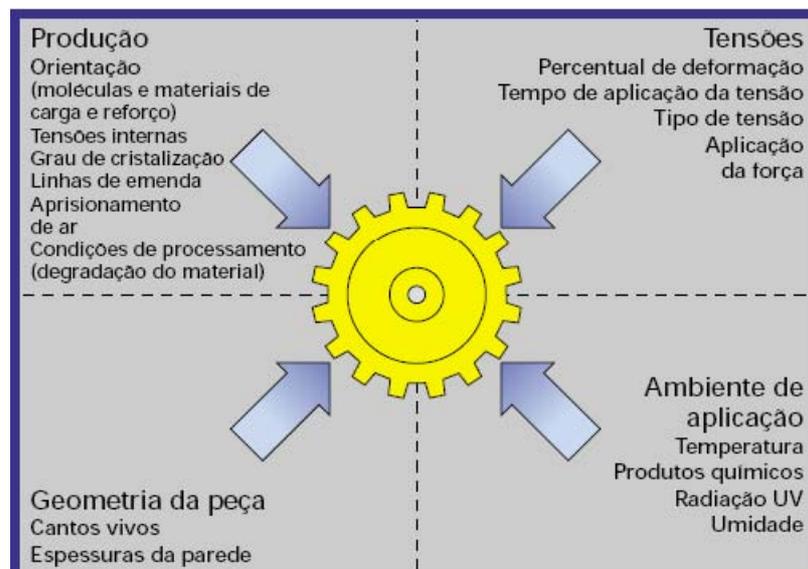
Uma peça bem projetada deve levar em conta diversos aspectos tais como:

- Condição de utilização. (por exemplo: a exposição aos raios UV pode degradar o material plástico – (Figura 3).
- Processamento adequado (para evitar falhas oriundas de diversos fatores tais como: degradação, falhas de injeção, tensões residuais etc.).



**Figura 3.** Degradação do material devido ao excesso de radiação UV.<sup>(3)</sup>

A obtenção de uma peça que apresente bom desempenho deve levar em conta a otimização desses fatores, conforme mostra a Figura 4.



**Figura 4.** Fatores que influenciam as propriedades da peça.<sup>(3)</sup>

## 4.2 Seleção de Materiais

O Engenheiro de Produto muitas vezes se depara com uma grande dificuldade no início de desenvolvimento de uma peça plástica: que material escolher? Apesar da vasta quantidade de especificações acumulada pela indústria, informações e experiência, essa não é em muitos casos uma tarefa fácil. Existe uma gama imensa de produtos que podem atender diferentes requisitos.

Em muitos casos existem sim, produtos inadequados ao uso. Isso pode ocorrer por propriedades intrínsecas inadequadas ao ambiente de trabalho, propriedades de longo prazo não compatíveis ou aspectos de projeto.

Os materiais plásticos convencionais dividem-se em duas grandes classes de produtos: materiais amorfos e semicristalinos. Sua principal diferença refere-se ao arranjo de sua estrutura molecular. A estrutura cristalina diferencia as duas classes

com relação às propriedades finais dos mesmos (e também com relação a processamento e design de ferramentas) (Figuras 5 e 6).

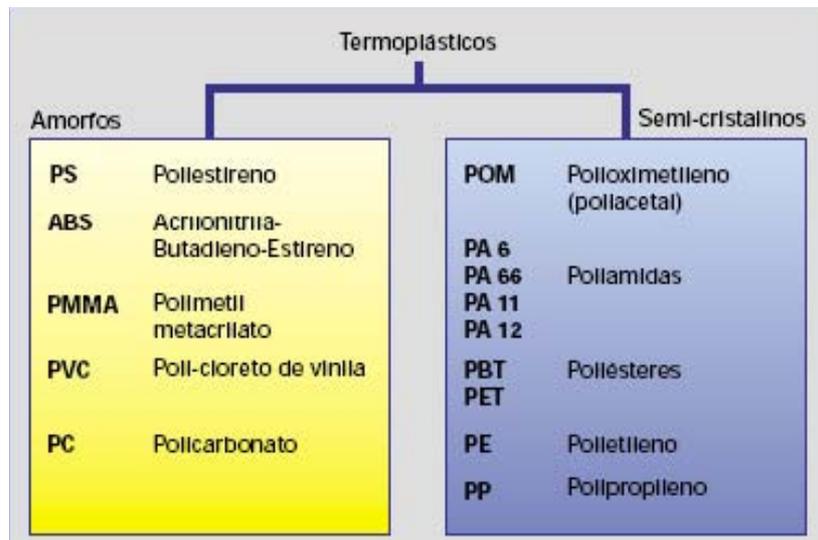


Figura 5. Termoplásticos.<sup>(3)</sup>

	Amorfos	Semicristalinos
Propriedades mecânicas	O	+
Tendência ao creep	+	O
Resistência química	-	+
Resistência a fadiga por flexão	-	+
Deformação crítica	0,4% – 0,8%	0,5% – 8%
Sensibilidade ao entalhe	-	O
Temperatura de aplicação	O	+
Propriedades de fusão	Faixa de amolecimento	Ponto de fusão exato
Contração	0,3% – 0,8%	1,0% – 3%

+ Favorável O Satisfatório - Insatisfatório

Figura 6. Comparação de propriedades dos termoplásticos.<sup>(3)</sup>

De uma maneira bastante genérica polímeros cristalinos são usados principalmente na fabricação de componentes expostos a altos esforços de tensão e temperatura. Já os polímeros amorfos encontram largo uso onde o aspecto de empenamento seja crítico.

Os plásticos têm suas propriedades alteradas pela adição de cargas, fibra de vidro. Esses materiais alteram de forma substancial o empenamento e a contração – fatores importantes no projeto de moldes e peças.

## 5 CONCLUSÃO

Pecas injetadas de alta qualidade, e economicamente viáveis, necessitam de um projeto criterioso, e de uma análise sistemática da escolha de materiais, projeto, processo e condições de funcionamento.

Solicitações de serviço devem ser cuidadosamente analisadas e relacionadas ao se iniciar o processo de desenvolvimento do componente plástico (Figura 7).

<p><b>A. Geral</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Função da peça</li> <li>2. Possibilidades de modificação e integração (melhora da funcionalidade)</li> </ol>
<p><b>B. Condições de funcionamento</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Solicitações mecânicas: tipo, duração, nível <ul style="list-style-type: none"> <li>- estática, dinâmica</li> <li>- de curta duração, de longa duração, intermitentes</li> <li>- valores máximo e mínimo</li> </ul> </li> <li>2. Temperatura de operação <ul style="list-style-type: none"> <li>- valores máximo e mínimo</li> <li>- duração da exposição</li> </ul> </li> <li>3. Ambiente de aplicação <ul style="list-style-type: none"> <li>- ar - água - umidade</li> <li>- produtos químicos</li> <li>- radiação UV</li> <li>- ...</li> </ul> </li> </ol>
<p><b>C. Exigências de projeto</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tolerâncias</li> <li>2. Deformação máxima permitível da peça acabada</li> <li>3. Montagem - desmontagem (técnicas de montagem)</li> <li>4. Especificações e aprovações <ul style="list-style-type: none"> <li>- normas oficiais</li> <li>- diretrizes internas da empresa</li> </ul> </li> <li>5. Qualidade superficial <ul style="list-style-type: none"> <li>- marcas permitíveis</li> </ul> </li> </ol>
<p><b>D. Condições de teste</b></p> <p>Devem ser descritos detalhadamente todos os métodos de teste que podem ser utilizados para se avaliar o desempenho e a qualidade da peça.</p>
<p><b>E. Eficiência, em termos de custo</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Custos da peça ou sistema de montagem antigos</li> <li>2. Volumes de produção</li> </ol>
<p><b>F. Outros</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Normas ambientais</li> <li>2. Fatores de segurança</li> <li>3. Todas as informações adicionais que permitam uma compreensão completa das funções e das condições de funcionamento da peça, das solicitações mecânicas e ambientais e das possíveis condições adversas que a peça tenha que suportar.</li> </ol>

**Figura 7.** Lista de verificação de projetos.<sup>(3)</sup>

Dado à complexidade do ambiente de trabalho e a exigência de garantias, protótipos devem ser produzidos (com métodos de fabricação semelhantes aos esperados em escala de produção), testados e se necessário, modificados para atender às normas de desempenho de forma adequada.

Protótipos baseados em usinagem de materiais plásticos podem fornecer algumas informações, mas não permitem estudar o efeito de linhas de emenda ou avaliar o efeito da variação da orientação de das fibras e acabamento superficial, por exemplos. A rigidez e resistência de barras e placas extrudadas, é normalmente maior que de uma peça injetada (maior cristalização). Sulcos causados por usinagem podem alterar de forma substancial algumas características de resistência. Esses fatores devem ser levados em consideração.

Moldes produzidos por casting, alumínio ou latão também permitem coletar informações adicionais, mas ainda assim é importante considerar que parâmetros importantes do processo de moldagem, como temperatura e pressão, não serão reproduzidos nas mesmas condições que com um molde definitivo de produção. As condições de resfriamento, e conseqüente cristalização conduzem a possíveis diferenças em termos de contração e empenamento. Assim, em certo estágio, a validação do produto, somente poderá ser feita em moldes de produção. Ainda que modernas técnicas computadorizadas e critérios rigorosos sejam seguidos, as informações de protótipos testados em condições operacionais reais – ou simuladas dentro do mais próximo da realidade – são fatores importantes para a comprovação

do uso do produto, e fornecem informações de maior exatidão, que auxiliam sobremaneira a construção das cavidades dos moldes para injeção de plásticos de engenharia, isto em qualquer segmento industrial.

### **Agradecimentos**

Ao Grupo de Assistentes Técnicos da DuPont do Brasil (Engº Danilo Hideo Sato, Engº Ricardo V. Carvalho, Engº Andre Bueno, Engª Samanta S. Barbosa) pela atenção na compilação, tradução e apoio geral.

À responsável pelo setor de Comunicação de Marketing de Plásticos de Engenharia da DuPont do Brasil, Elisângela L. Teodoro, pelo suporte operacional.

À DuPont do Brasil, pela oportunidade de acesso à base de informações e gráficos.

Ao Diretor de Plásticos de Engenharia para América do Sul, Sr. Horácio Nestor Kantt, que apoiou e viabilizou o 'Programa de Seminários Externos' de área de Plásticos de Engenharia da DuPont do Brasil.

À Ormene Dorneles, que revisou e formatou o trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 DORNELLES FILHO, A. M. L. – Critérios na Seleção de Plásticos de Engenharia para Aplicações em Veículos Populares no Brasil, p. 8 e 20 - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Jan. 2007.
- 2 SCHRÖER, P. – Injection Molds, p. 23 in 'Molding –Making Handbook for the plastics engineer – Edited by Klaus Stoeckhert – Jun 1983.
- 3 DUPONT TECHNICAL ASSISTANCE TEAM – Top Ten Design Tips – pg. 1-29, Maio. 2004.