

## PROTÓTIPO FUNCIONAL

A fase de execução física do projeto se inicia pela criação dos protótipos. Depois de adquirida alguma confiança a respeito dos componentes a serem usados, os quais foram criados virtualmente ou selecionados e analisados conforme os capítulos anteriores, a equipe de projeto pode então partir para a fase de consolidação dos estudos com o auxílio dos protótipos.

Dependendo do tipo de projeto realizado e da estrutura da empresa responsável pelo projeto, podem ser realizados um ou mais protótipos do veículo. Entretanto, cabe aqui ainda lembrar que o termo protótipo não se refere exatamente à forma final que terá o produto.

Os componentes e sistemas que integram o veículo também são construídos como protótipo, independentemente da construção global do veículo, de forma que a atuação destes possa ser verificada antes que o sistema seja incorporado ao protótipo do veículo.

No caso do sistema de suspensão, pode ser construído um berço de acoplamento do sistema. Este berço tem as posições relativas no espaço de forma idêntica que os acoplamentos do sistema na massa suspensa. Veículos com chassis ou com sua estrutura em tubos montados artesanalmente, podem ter a mesma construída, sendo a suspensão acoplada a estes para os primeiros testes.

Portanto, o ponto onde se inicia a prototipagem do veículo é definido pela equipe de projeto e direcionado pela confiabilidade que se deseja ter, seja no conjunto, seja no sistema individualmente. De certa forma, o quanto antes se inicia a produção de protótipos em um projeto maior é o custo de concepção. Em contrapartida maior poderá ser a credibilidade do sistema pela execução de testes nestes protótipos.

Como o protótipo serve para fazer verificações e validações entre o projeto virtual e o desejado, de acordo com normas e premissas do projeto, muitas vezes podem-se empregar escalas e materiais distintos da real premissa de projeto, de forma a diminuir os custos ou o tempo de fabricação de um componente.

## 7.1 Escolha da escala e do material

Uma das formas de se reduzir o custo ou o tempo de fabricação de um componente a ser analisado, ou seja, um protótipo, é a utilização de escala menor que o tamanho real e de materiais de menor custo.

Para a criação do protótipo, dependendo da finalidade do estudo ao qual ele se destina, não é necessário que ele seja criado na escala real. No estudo de sistemas automotivos esta prática tem sido empregada pelo uso de prototipagem rápida que será tratado ainda neste capítulo. A utilização de escala é também bastante empregada para o estudo automotivo em meios acadêmicos e na verificação em túneis de vento, em locais que não dispõem de túnel capaz de comportar um veículo ou um sistema inteiro a ser analisado.

Algumas indústrias automobilísticas utilizam o emprego de escalas no veículo inteiro, desde conceito inicial voltado para o marketing do veículo até a elaboração de mecanismos, de forma a verificar o funcionamento do mecanismo e a existência de interferências entre os componentes, utilizando-se de peças físicas e não virtuais. Esta verificação é importante, pois muitas vezes o meio virtual não permita a visualização de determinados detalhes que podem passar despercebidos e comprometer a criação do novo sistema.

O material a ser utilizado nos protótipos pode ser diferentemente definido em diversas fases. Para os protótipos de verificação dimensional da suspensão podem-se utilizar materiais relacionados a uma das tecnologias de prototipagem rápida, conforme será tratada no item prototipagem rápida deste capítulo ou ainda, podem ser utilizados materiais convencionais. A preferência no uso de materiais convencionais para a verificação dimensional é pelo emprego de materiais de fácil conformação mecânica e retirada de material (forjamento, usinagem, fresagem etc.).

## 7.2 Prototipagem rápida

Para prever o comportamento real do sistema, quando se introduz o conceito de uma nova suspensão de veículo, uma solução tradicional seria a construção de protótipos em escala real ou modelos reduzidos para ensaios em laboratórios, onde instrumentos de medição coletariam dados de tensões, deformações, velocidades, forças, etc. Entretanto, a metodologia da construção e ensaio de diversos protótipos costuma consumir mais recursos humanos e financeiros e tempo do que seria o desejável não sendo, portanto, uma solução ideal.

A Prototipagem Rápida é conhecida por dois estágios diferentes: a criação virtual (modelagem e simulação), conforme já foi exposto neste trabalho e o processo físico que consiste na fabricação de novos componentes e sistemas.

Conforme já foi tratado, a prototipagem virtual consiste na criação de um modelo computacional através de simulação, em processo dinâmico e interativo, antes do protótipo físico ser criado. Primeiramente, o modelo computacional é criado a partir das características de forma, tamanho e material, levando em conta as especificações de funcionalidade e desempenho da peça final. No próximo passo, a simulação é executada para verificar se o projeto atende às necessidades, restrições e desempenho da especificação. No ambiente de prototipagem virtual, a simulação possibilita executar testes que são impraticáveis e caros em laboratórios. A equipe de projeto tem a liberdade de poder manipular virtualmente peças e montagens, observando os efeitos das forças, conexões e juntas, colisões e contato.

Uma ferramenta no campo da prototipagem virtual que não foi tratada no presente estudo, mas que também pode ser utilizada, sendo de grande auxílio na previsão de forças envolvidas na manutenção e no acesso aos componentes da suspensão, é a interface manual (haptic interface) que permite tocar e sentir o protótipo virtual criado, através do uso de luvas e óculos especiais, conforme a figura 7.01. A realimentação obtida fornece a informação necessária para fazer

corretamente todas as modificações necessárias antes que o protótipo físico seja construído.

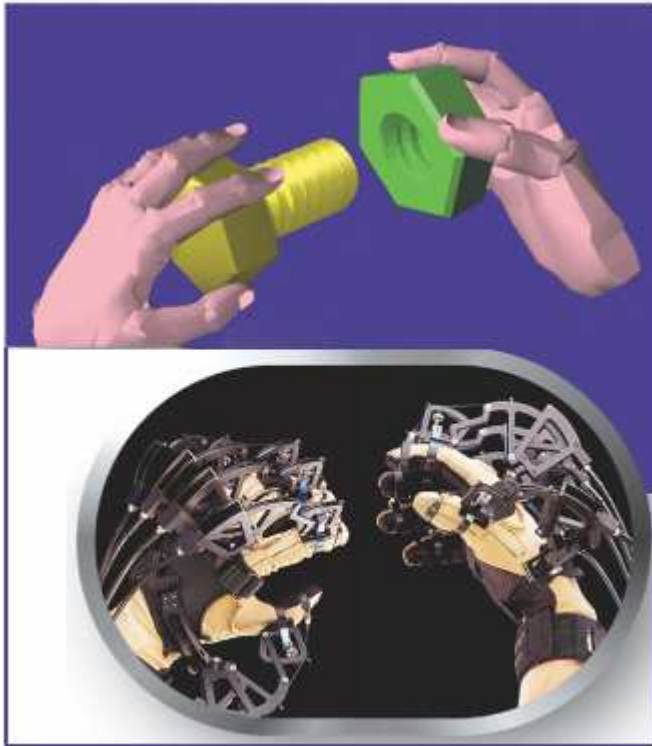


Figura 7.01 – Interface Haptic.

Uma vez que o modelo é criado e a simulação do objeto é dada por satisfatória, a informação pode ser enviada para a criação do protótipo físico. Neste estágio, a fabricação das peças criadas pode ocorrer de forma convencional ou através de modernas tecnologias de fabricação.

Sem o uso das tecnologias de prototipagem rápida, é necessário construir um protótipo físico, com a utilização de grande quantidade de ferramentas manuais, com pessoal especializado e máquinas-ferramentas caras. O protótipo é então testado para adequar-se às várias especificações do projeto. Correções e revisões são feitas e frequentemente deve ser criado um próximo protótipo com as novas modificações. O tempo gasto na criação dos vários protótipos físicos pode levar a um aumento considerável no tempo de desenvolvimento do produto, podendo ainda afetar a qualidade do produto final.

Neste ponto, o segundo estágio na Prototipagem Rápida é a fabricação dos componentes por um processo conhecido como *Solid Freeform Fabrication*.

Nessa técnica as peças são produzidas por adição de material, ao invés de deformar ou remover material (forja, usinagem, eletroerosão, etc.).

Segundo Bourell, *Solid Freeform Fabrication* é definido como “a produção de objetos sólidos de forma livre diretamente de um modelo computacional sem ferramental específico ou intervenção humana”. Usualmente os termos *Solid Freeform Fabrication* e Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping*) são usados sem distinção referenciando a fabricação de modelos físicos adicionando camadas de material. O termo “Prototipagem Rápida” no presente texto é utilizado para esse propósito.

Na prototipagem rápida, inicialmente um modelo virtual sólido (modelo 3D gerado em CAD) de um objeto é decomposto, em camadas. Cada camada é construída por uma deposição ou fusão de material que sucessivamente, uma a uma, vai formando o objeto, conforme mostrado na figura 7.04. Cada camada depositada pode ser acompanhada por algum sub-processo necessário (remoção de material, alívio de tensão) para criar objetos 3D, sem fixação da peça específica, ferramental ou intervenção humana.

Por ser uma fabricação baseada em camadas, os sistemas de prototipagem rápida são capazes de produzir peças de geometria complexa e formas que são impraticáveis, impossíveis ou de elevado custo para se construir por sistemas tradicionais. Este processo também permite a fabricação de peças com estruturas montadas que seria impraticável usando sistemas convencionais de fabricação.

A prototipagem rápida representa um importante papel no desenvolvimento de ferramental rápido, nos processos convencionais de fabricação de grandes volumes ou nos baixos lotes de produção para os emergentes "mercados de massa", como as ferramentas para moldes de injeção ou moldes para fundição. Ela é também usada para produzir protótipos para visualização ou comunicação de idéias em grupos de desenvolvimento, para a visualização de estruturas complexas, e ainda exibição de marketing e protótipos funcionais.

Desta forma, as equipes de projeto não precisam estar todas no mesmo local de trabalho para a comunicação de idéias e utilização de componentes físicos. Uma vez finalizado o desenho virtual, a peça pode ser impressa em

qualquer escritório ou galpão que disponha de impressora do tipo FDM. Atualmente, estas impressoras possuem o espaço interno parecido com um cubo que varia de 20 cm a 60 cm de lado, de acordo com o modelo. A figura 7.02 mostra impressoras do tipo FDM e a figura 7.03 mostra componentes criados por elas.



Figura 7.02 – Impressoras FDM



Figura 7.03 – Componentes criados por impressoras FDM

Existem pelo menos três tipos de tecnologias de impressoras de prototipagem rápida. Entre elas são existentes:

- Modelagem por Deposição de Material Fundido (*Fused Deposition Modeling – FDM™*) – É o processo no qual um polímero termoplástico aquecido (ou cera) é estrudado através de um bico posicionado sobre uma mesa x-y. O bico é controlado por um computador e deposita material em cada camada apenas nas

áreas selecionadas. O processo é repetido de baixo para cima até que a peça esteja completa. A rápida solidificação do termoplástico permite fazer partes salientes sem a necessidade de estruturas de suporte. O processo pode ser visto na figura 7.04.

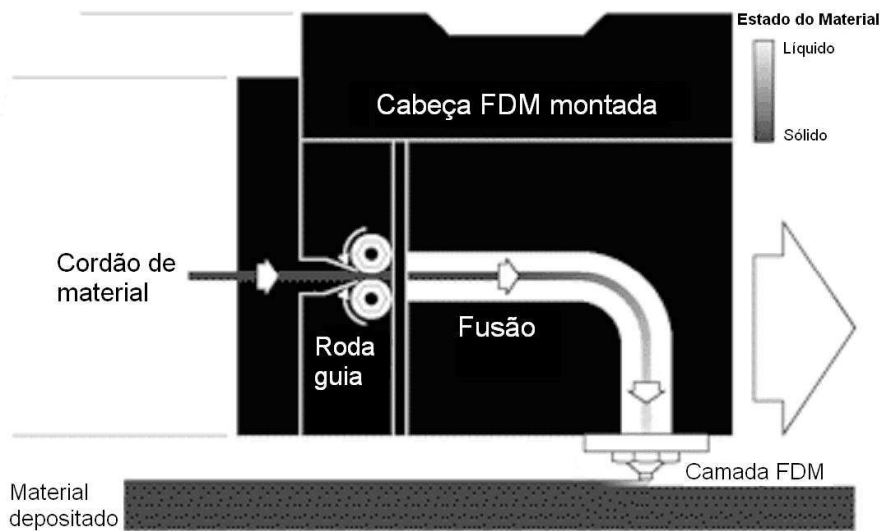


Figura 7.04 – Processo de modelagem por deposição de material fundido.

- **Sinterização Seletiva à Laser (SLS)** – Neste processo uma fina camada de pó é depositada sobre uma superfície com a ajuda de um rolo. Um feixe de laser de CO<sub>2</sub> sinteriza as áreas selecionadas causando a aderência do pó termofundível nas áreas a serem formadas naquela camada em particular. Camadas sucessivas são feitas até que a peça esteja completa. O pó não fundido pelo laser é removido quando a peça estiver completa. Até que a peça esteja completa, este pó serve como um suporte para partes salientes e desconectadas. A diversidade de materiais que podem ser usados por este processo é significativa quando comparado a outros processos. Alguns materiais disponíveis para SLS são: nylon, cera, poliamida, elastômero, cerâmica e metal com polímero aglutinante para aplicações em ferramental leve.

- **Estereolitografia (SLA)** – Este processo usa a emissão de um laser e resina específica. O processo começa com a peça em CAD sendo fatiada camada por camada e o laser ultravioleta, com a ajuda de um sistema ótico, varre a área da superfície da resina foto-curável contida em um recipiente. Quando exposta ao

feixe de laser, a resina muda do estado líquido para o sólido. A cada camada realizada, o suporte desce para o nível seguinte e nova camada será feita na parte superior da resina. A cura de uma camada sobe a outra torna a peça contínua entre as camadas. Por isso é possível criar várias peças numa mesma impressão. Após estar completa a impressão da peça, a mesma é removida do barril e a resina tem sua cura final utilizando-se um forno próprio para este fim.

No caso descrito de peças desconectadas ou salientes é necessária a utilização de estruturas de suporte de forma a evitar que desçam para o fundo ou flutuem livremente na resina líquida, conforme visto na figura 7.05.

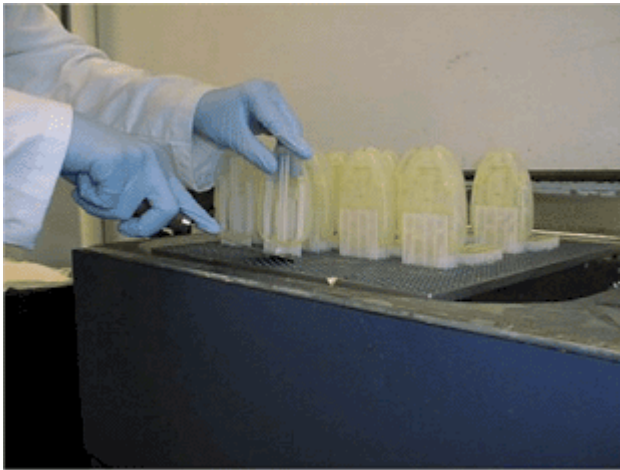


Figura 7.05 – Base utilizada na estereolitografia.

### 7.3 Descrição das etapas de prototipagem

A área responsável pela confecção dos protótipos dos veículos geralmente é responsável pela confecção não só do veículo como um todo, mas também de partes do conjunto a ser usado em um veículo já existente que se deseje melhorar.

Os protótipos servem para a engenharia experimental fazer os testes com a finalidade de aperfeiçoamento de algum item do veículo e suas homologações.

No caso da criação de um sistema de suspensão a um veículo já existente no mercado, a área de prototipagem normalmente retira um ou mais veículos



incompletos da linha de produção e faz as devidas modificações e montagens para atender a esse projeto, após a fase.

As fases dos protótipos podem ser classificadas por uma montadora como:

- $X_1$  e  $X_2$  – são os protótipos confeccionados na área de estilo. Nesta fase, o protótipo não está completo. Estes protótipos só dão uma idéia de sua estética e de algumas dimensões preliminares.
- $X_3$  – nesta fase se tem um protótipo que pode ser testado pela Engenharia, porém, muitas peças, como ainda não foram homologadas, são provisórias. Mesmo a forma como são produzidas não representa a maneira como o seriam em série. Muitas destas peças são produzidas pelo método de prototipagem rápida, tendo assim peças em três dimensões (3D) cujas características mecânicas não são equivalentes às que serão apresentadas no protótipo final. Esta etapa, pela relativa facilidade de fabricação dos componentes pode ter várias versões e assim, vários protótipos.
- $X_4$  – nesta fase o protótipo montado já tem que estar com todas as suas peças homologadas e documentadas. Todo o ferramental necessário para a fabricação das mesmas já tem que estar pronto. Este protótipo será usado como modelo para treinamento do pessoal da linha de montagem e para futura comparação com os veículos que sairão da linha.