

# **Otimização do desenvolvimento de produto através da Prototipagem Rápida na obtenção de ferramental e protótipos em curto espaço de tempo.**

Maurício de Oliveira Gondak (SOCIESC) [mauricio.gondak@sociesc.com.br](mailto:mauricio.gondak@sociesc.com.br)  
Rogério de Oliveira Gondak (ABO-PG) [rogeriogondak@yahoo.com.br](mailto:rogeriogondak@yahoo.com.br)  
Gilberto Paulo Zluhan (SOCIESC) [zluhan@sociesc.com.br](mailto:zluhan@sociesc.com.br)

## **Resumo**

Um dos principais fatores na busca pela liderança em um mercado que muda continuamente é a habilidade de se introduzir rapidamente novos produtos. O tempo contado para um produto deve ser aquele suficiente para se ter o melhor produto, com o mais baixo preço e com a melhor proporção qualidade/preço. Em uma indústria que tem como objetivo satisfazer as exigências de seus clientes e superar a concorrência, devem ser considerados três fatores de produção: tempo de entrega (o menor possível); qualidade (a mais alta possível) e preço (o mais baixo possível). Este artigo explora o papel da Prototipagem Rápida na etapa de desenvolvimento de produto, inter-relacionando estes parâmetros produtivos no projeto de criação de produtos.

Palavras chave: Prototipagem rápida, Desenvolvimento de produto, Tempo de entrega.

## **1.Introdução**

Atualmente as empresas têm incorporado tecnologias ao processo de desenvolvimento de produtos, envolvendo de maneira integrada, aspectos técnicos e outros ligados ao gerenciamento do projeto como um todo. Conseqüentemente o processo vem sendo aprimorado de modo a gerar produtos com qualidade combinado com redução do custo total, e do ciclo de desenvolvimento do produto promovendo um aumento da competitividade das empresas. As vantagens do lançamento antecipado de produtos no mercado permitem o prolongamento do ciclo de vida do produto, ganhando mais clientes e desenvolvendo um impulso que não apenas aumenta as vendas dos produtos, como também as estende para o futuro, aumentando a participação no mercado e proporcionando maiores margens de lucro (SMITH E REINERTSEN, 1997).

Os métodos de Prototipagem Rápida (RP, de *Rapid Prototyping*) permitem aos projetistas criar rapidamente protótipos concretos a partir de seus projetos, ao invés de figuras bidimensionais. Esses modelos apresentam diversos usos como nas áreas: automotiva, aeronáutica, marketing, restaurações, educação, paleontologia e médica (NUMA, 2005). Eles constituem um auxílio visual excelente durante a discussão prévia do projeto com colaboradores ou clientes. Além disso, o protótipo pode permitir testes prévios como, por exemplo, ensaios em túnel de vento para componentes aeronáuticos ou análise fotoelástica para se verificar pontos de concentração de tensões na peça. A verdade é que os projetistas

sempre construíram protótipos; os processos de prototipagem rápida permitem que eles sejam feitos mais depressa e de forma mais barata. De fato, estima-se que a economia de tempo e de custos proporcionada pela aplicação das técnicas de prototipagem rápida na construção de modelos seja da ordem de 70 a 90% (GORN, 2001).

## 2.Utilização de Protótipos no Desenvolvimento de Produto

Segundo Strong (1996) a manufatura de uma peça ou sistema envolve um número de etapas. Estas etapas, do conceito a realização, são as seguintes:

- Identificação das necessidades;
- Especificação funcional;
- Geração de conceito e avaliação;
- Projeto da peça;
- Projeto do processo e planejamento;
- Criação do protótipo e verificação;
- Implementação da produção.

O fluxograma destas etapas está representado na Figura 1. A peça ou sistema projetado e o projeto de processo ocorrem simultaneamente, com interações entre os grupos. Quando a função projeto da peça é separada da função projeto do processo, ou quando ocorrem em sequência e não ao mesmo tempo, muito tempo é perdido e muitos erros ocorrem. A interação entre os dois estágios de projeto é chamado de Engenharia Simultânea ou Engenharia Concorrente e é uma importante contribuição no desenvolvimento de produto moderno.

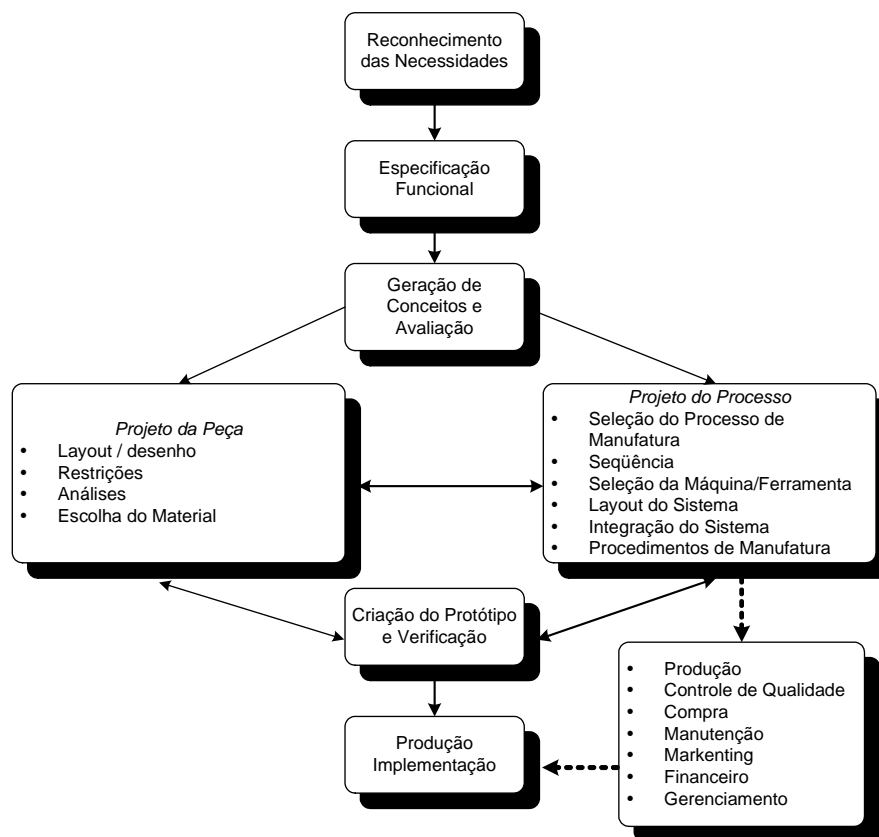


Figura 1 – Etapas do processo de desenvolvimento de produto de acordo com Strong (1996).

A presença dos protótipos no desenvolvimento de produto são importantes principalmente

para a visualização de produto e como instrumento de integração entre os vários profissionais envolvidos no seu desenvolvimento. Hoje muitas empresas tem encurtado o ciclo de desenvolvimento do produto pelas mudanças através do processo de prototipagem. (ROSENAU, 1996). Os protótipos desenvolvidos com sistemas de Prototipagem Rápida podem ser utilizados para conduzir a todas as funções importantes do produto e deve possuir os aspectos de aparência e características do produto, atuando como uma ferramenta de *marketing*, facilitando testes de mercado e mesmo como modelos em processos de fundição (KAMINSKI, 2000).

### **3. Prototipagem Tradicional**

No passado, o protótipo tradicional era um ou dois modelos de engenharia de um produto fabricado, geralmente de alto custo, usando técnicas e equipamentos de usinagem padrões (ROSATO & ROSATO, 1995). Os métodos tradicionais de fabricar um protótipo são por usinagem, moldagem simples ou mesmo outro método manual. Estes métodos são quase sempre lentos e não são usados para grandes quantidades, mas são aceitáveis para realização da verificação de poucos itens. Idealmente, os protótipos devem ser fabricados do mesmo material que irá ser usado pelo produto final, o que não é sempre possível. Quando não é possível, a principal proposta do protótipo é verificar as características dimensionais da peça. Quando o protótipo pode ser fabricado do mesmo material como o produto final, uma variação total de ensaios pode ser conduzida para realizar a verificação de todos os parâmetros de projeto da peça auxiliando na especificação funcional.

O projeto do processo deve ser compatível com o projeto da peça para o protótipo ter significado real. Se a peça não satisfazer todos os critérios ou regras de projeto para o processo de manufatura que é avaliado, nem as dimensões do projeto da peça nem as características de desempenho podem ser verificadas.

### **4. Prototipagem Rápida**

A Prototipagem Rápida é essencialmente uma tecnologia que produz modelos físicos a partir de desenhos tridimensionais de sistemas CAD. Ao contrário dos protótipos desenvolvidos com máquinas de usinagem (retiram material), a RP compõe o modelo a partir de materiais básicos depositados em finas camadas (horizontais) subseqüentes cujo contorno é obtido diretamente de sistemas CAD. Os resultados são componentes físicos em plástico, cerâmica e metal, conforme o tipo de tecnologia de RP. A grande vantagem é que se obtêm protótipos de uma forma muito mais rápida (algumas horas) que no processo tradicional e razoavelmente independente da complexidade geométrica do componente. Assim sendo, quando o tempo é um fator crítico no desenvolvimento do produto, a versatilidade e a rapidez dessa tecnologia tornam-se sua principal vantagem comparativa (KAMINSKI, 2000).

Vários sistemas têm sido desenvolvidos para fabricar protótipos muito mais rápido do que utilizando-se métodos tradicionais. O protótipo pode ser fabricado com o mesmo material ou ou diferentes tipos de materiais, dependendo do sistema de prototipagem rápida. Os sistemas de prototipagem rápida são muito valiosos em encurtar o tempo exigido para criar um protótipo, muitas vezes reduzindo o tempo por um fator de 10 (KAMINSKI, 2000). Com a economia de tempo permite vários protótipos diferentes serem comparados e avaliados, através da melhoria na eficiência na realização total do processo de fabricação do produto.

#### **4.1 Principais Sistemas de Prototipagem Rápida**

A escolha da tecnologia de RP mais adequada está ligada com o tipo de produto, envolvendo fatores como:

- quantidade de protótipos necessários;
- dimensões do componente;
- finalidade do protótipo;

– qualidade de acabamento necessária do protótipo.

O valor da Prototipagem Rápida tem estimulado o desenvolvimento de vários sistemas competitivos. A Prototipagem Rápida não é mais um processo exótico e, em decorrência, de suas vantagens econômicas e práticas, não pode mais ser eliminada da indústria. No entanto, não existe um caminho único para o protótipo rápido: há um série de processos concorrentes neste campo, dependendo da aplicação a qual se destina o protótipo. Os principais sistemas de prototipagem rápida usados na fabricação de modelos estão descritos a seguir:

**Estereolitografia (SLA)** é o processo mais antigo, patenteado em 1986, e mais difundido de RP. A característica básica deste processo é a estrutura em camadas, que se forma a partir de um banho de resina sensível a luz ultravioleta, pela qual é curada (ROSATO & ROSATO, 1995). O modelo é construído sobre uma plataforma situada imediatamente abaixo da superfície de um banho líquido de resina epóxi ou acrílica. Uma fonte de raio laser ultravioleta, com alta precisão de foco, traça a primeira camada, solidificando a seção transversal do modelo e deixando as demais áreas líquidas. A seguir, um elevador mergulha levemente a plataforma no banho de polímero líquido e o raio laser cria a segunda camada de polímero sólido acima da primeira camada. O processo é repetido sucessivas vezes até o protótipo estar completo. Uma vez pronto, o modelo sólido é removido do banho de polímero líquido e lavado. Os suportes são retirados e o modelo é introduzido num forno de radiação ultravioleta para ser submetido a uma cura completa (GOMIDE, 2002).

**Sinterização Seletiva a Laser (SLS, Selective Laser Sintering):** nesta técnica, uma fina camada de pó termofundível é depositada sobre uma superfície com a ajuda de um rolo. Um raio de laser é usado para fundir, de forma seletiva, materiais tais como: poliamidas, elastômeros, cerâmicas, ceras e metais, num objeto sólido. As peças são construídas sobre uma plataforma a qual está imediatamente abaixo da superfície de um recipiente preenchido com o pó fusível por calor. O raio laser traça a primeira camada, sinterizando o material. A plataforma é ligeiramente abaixada, reaplica-se o pó e o raio laser traça a segunda camada. O processo continua até que a peça esteja terminada. O pó em excesso ajuda a dar suporte ao componente durante sua construção (GORNI, 2001).

**Manufatura de Objetos em Lâminas (LOM, Laminated Object Manufacturing):** nesta técnica para a obtenção de protótipos a partir de uma estação de CAD, o qual se constitui de várias camadas de papel, na forma de tiras revestidas de adesivos termo-ativados, cortadas a laser e mantidas unidas umas nas outras formando-se o protótipo. Estes protótipos resistem altas forças de compressão e são muito úteis na indústria de fundição (STRONG, 1996).

**Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, Fused Deposition Modeling):** gera o modelo pela extrusão de um filamento de resina termoplástica aquecida e a partir de uma matriz em forma de ponta que se move na horizontal, depositando continuamente o material extrudado, formando as camadas da peça (ARTIS, 2005). O processo é repetido até a construção total do protótipo e são construídos suportes para a fixação durante a fabricação para segurar o protótipo. As resinas termoplásticas adequadas a esse processo incluem poliéster, polipropileno, copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS), elastômeros e cera usada no processo de fundição por cera perdida (GORNI, 2001).

## 5. Influência da RP nos fatores de Produção

A rápida introdução de novos produtos representa um dos principais objetivos a serem alcançados pelas empresas no mercado atual. Esse desenvolvimento deve ser acompanhado por qualidade, tempo reduzido e preço competitivo.

Com relação ao tempo de lançamento do produto a Figura 2 demonstra que se tal produto estiver disponível no mercado mais cedo, as vendas deste se estabilizam em um patamar mais alto que um produto equivalente que entrou no mercado mais tarde. Um produto que chega atrasado no mercado perde seu potencial de ciclo, demonstrando a importância de se diminuir

o tempo entre a idéia e o produto no mercado.

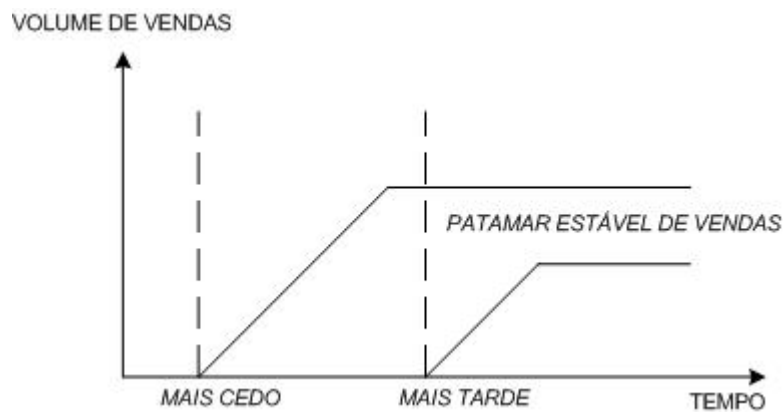


Figura 2 – Tempo de lançamento de um produto.

Como potenciais benefícios da Prototipagem Rápida a curto prazo, destacam-se a melhoria na manufaturabilidade e redução de custos no projeto de produtos, ao serem revelados as deficiências e lacunas nos processos de manufatura. A disponibilidade a curto prazo de protótipos para visualização ou para testes funcionais permite julgar o sucesso de um produto já durante a fase de seu desenvolvimento e, assim, eliminar os erros antes da fabricação (Hock & Kneisel, 1996).

O tempo de lançamento no mercado pode ser substancialmente reduzido com a realização de menos testes e eliminação de retrabalho. Os objetivos a longo prazo seriam otimizar o projeto dos sistemas de manufatura, bem como o projeto do produto no ponto de vista da produtividade. O benefício imediato será um custo reduzido e um produto mais acessível, como ilustra a Figura 3 comparando as atividades de um modelo tradicional e com o uso de tecnologias RP, pode-se gerar economia em tempo e custos, dependendo do tamanho da produção.

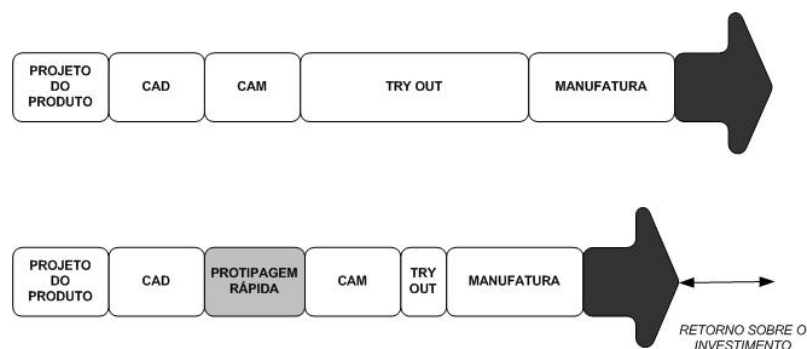


Figura 3 – Economia de tempo e custos com a utilização da Prototipagem Rápida.

Transformar uma idéia em um produto que possa rapidamente ser lançado no mercado é uma questão, hoje, de importância capital, dessa forma, a indústria de Prototipagem Rápida vem atingindo patamares significativos de crescimento nos últimos anos.

No que se refere ao custo de mudanças no projeto base de um produto, este aumenta rapidamente conforme o projeto se desenvolve no ciclo de execução. Os dados a seguir, Tabela 1, documentam a importância das mudanças e o impacto que estas têm no preço

dependendo da fase em que se encontra o projeto.

Fase de Projeto	Preço
Modelo conceitual	\$ 10
Desenho detalhado	\$ 100
Protótipo/Teste	\$ 1000
Engenharia de produção	\$ 10000
Produto final	\$ 100000

Fonte: (Adaptado de Wohlers Associates, 1998)

Tabela 1 – Custos de mudanças no projeto base de um produto.

Já a importância da qualidade em qualquer produto dispensa comentários, pois toda sociedade está perfeitamente ciente de tal importância, ou seja, qualidade não é um diferencial mas sim um requisito básico, o produto que não apresentar qualidade está automaticamente fora do mercado.

Os serviços e as máquinas de RP expandiram-se significativamente nos últimos anos e tal crescimento continua. As razões são muitas, a principal é a familiaridade que as empresas passaram a ter com as inúmeras vantagens que as tecnologias de RP têm a oferecer aos usuários, esse processo de divulgação durou vários anos. Embora a RP esteja no mercado desde 1988 ela tem alcançado crescimento significativo somente a partir de 1993/94. Isto se deve ao fato da necessidade de um período de divulgação, período este que se estendeu de 1988 até 1993 quando definitivamente as empresas tomaram conhecimento das vantagens de tais processos. Este comportamento é demonstrado no gráfico mostrado abaixo, Figura 4.

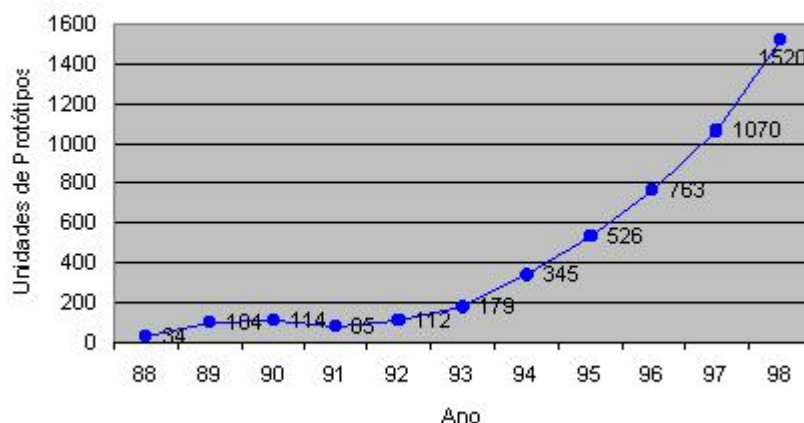


Figura 4 – Crescimento mundial da prototipagem rápida. (Adaptado de Wohlers Associates, 1998).

Além disso, o número de processos de RP disponível aumentou. Outros fatores que contribuíram para a aceitação da RP pelas indústrias foram a diversificação do número de processos e o surgimento de múltiplos materiais. Soma-se a isto vantagens como aumento da qualidade, diminuição dos erros, redução dos custos e tempo de entrega, e ainda implementação da versatilidade do projeto.

A escolha do processo de Prototipagem Rápida só pode ser feita considerando-se a aplicação específica do protótipo. Caso destina-se apenas à visualização ou ao projeto em si, são feitas

poucas exigências às características mecânicas. No caso da realização de testes funcionais, ou se o protótipo for usado como modelo-mestre, ele deve ser fabricado com resistência mais elevada e geometria mais precisa. Muitas vezes é necessário o emprego de materiais que correspondam aos que serão empregados na fabricação do componente futuro. Hoje é possível produzir peças com relativa precisão em materiais tais como resinas epóxis, termoplástico copolímero de acrilonitrila-butadieno-estireno (ABS) e poliamida com fibra de vidro. A lista de possibilidade continua a aumentar. A decisão também será influenciada pelo número de protótipos a serem realizados, no caso de um único protótipo ou uma série (Hock & Kneisel, 1996).

As empresas passaram a compreender que os custos envolvidos com sistemas de prototipagem rápida são justificáveis com base no aumento de qualidade do projeto e a prevenção de erros que causariam grandes transtornos e prejuízos. Recebendo um modelo físico no início do ciclo de projeto permite fazer correções e alterações enquanto o custo das mesmas ainda é inexpressível. A RP permite detectar erros muito antes da confecção de ferramental, possibilitando uma fabricação sem a necessidade de retrabalhos, proporcionando assim o lançamento do produto no mercado muito antes que os processos tradicionais permitem. Em alguns casos o tempo de produção é reduzido 10 vezes e o preço 2 vezes (Wohlers Associates, 1998). Se o fornecedor desta tecnologia possui clientela diversificada e com uma amplitude de produtos bastante vasta, ele pode produzir cada produto por um diferente caminho. Isto tornou o processo versátil e possibilitou a indústria de prototipagem rápida ter alcançado pontos significativos de crescimento nos últimos anos.

Muitos clientes ainda têm dúvidas sobre os processos de prototipagem rápida. É importante salientar que estes não são processos milagrosos que substituem as antigas práticas, tampouco é um produto de laboratório, mas sim um processo operacional. Ela apresenta muitas vantagens se for usada de maneira inteligente.

Em função destas vantagens a aceitação de tais tecnologias pelas empresas está em crescimento exponencial e tal crescimento tem levado as tecnologias de prototipagem a intenso aprimoramento e novos métodos têm surgidos, mostrando assim que estas tecnologias vieram para ficar.

As técnicas de Prototipagem Rápida podem ser usadas para a fabricação de ferramentais, um processo também conhecido como ferramental rápido ou *Rapid Tooling*, ou seja, a fabricação automática de ferramentas para uso na produção em série. A produção de ferramentas é uma das etapas mais lentas e caras no processo de manufatura, em função da qualidade extremamente alta que se exige delas. Ferramentas geralmente apresentam geometrias complexas e necessitam ser dimensionalmente precisas, em torno de centésimos de milímetro. Além disso, elas devem ser duras, resistentes ao desgaste e apresentar baixa rugosidade, em torno de 0,5 mm RMS. Por isso matrizes e moldes são tradicionalmente feitos por usinagem CNC, eletroerosão ou mesmo manualmente. Todos esses processos são caros e demorados, o que torna a implementação das técnicas de prototipagem rápida muito bem vinda. De acordo Gorni (2001) estima-se que essas técnicas permitam economizar 75% do tempo e custos envolvidos na fabricação das ferramentas. Elas também permitem a obtenção de peças com mesmo nível de qualidade da produção em série, na chamada manufatura rápida. De fato, a prototipagem rápida é o melhor processo de manufatura possível quando se precisa produzir pequenos lotes de peças e ou no caso de componentes complicados.

## **Conclusão**

Atualmente, já é possível em tempos recorde obter um protótipo funcional de qualquer produto por intermédio de um modelo 3D feito no CAD. Para se controlar os parâmetros: tempo, qualidade e custo é necessário o uso de Engenharia Simultânea. Assim muitas alternativas de desenho podem ser testadas e simuladas dentro de um tempo aceitável e então

utilizadas na geração de um modelo físico para avaliar os vários aspectos de um produto, pois o modelo virtual usado pelo CAD não é suficiente para permitir uma adequada avaliação do produto. Assim, a função da Prototipagem Rápida é gerar um modelo físico em tempo reduzido, com um mínimo de ferramental e com menor custo.

## Referências

- ARTIS. Prototipagem Rápida. [On line] Disponível em <<http://www.artis.com.br/prototipagem/>>. Acesso em 2004.
- GOMIDE, R. B. (2002). *Fabricação de componentes injetados em insertos produzidos por estereolitografia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GORNI, A. A. *Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos*. Revista Plástico Industrial, p. 230-239, mar. 2001.
- HOCK, S.; KNEISEL, T. (1996). *A prototipagem é o caminho mais curto para a fabricação de peças*. Revista Máquina e Metais, No 366, p. 24- 35, 1996. Aranda Editora.
- KAMINSKI, P. C. (2000). *Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.
- MALLOY, R. A. (1994). *Plastic Part Design for Injection Molding*. New York: Hanser Gardner Publications, Inc..
- NUMA. Núcleo de Manufatura. [On line] Disponível em <<http://www.numa.org.br/conhecimentos/prototipagem>>. Acesso em 2005.
- ROSATO, D. V. ; ROSATO, D. V. (1995). *Injection Molding Handbook*. London: Chapman & Hall, 2nd ed.
- ROSENAU, M. (1996). *The PDMA Handbook of New Product Development*. John Wiley & Sons.
- SMITH, P. G.; REINERTSEN, D. G. (1997). *Desenvolvendo Produtos na Metade do Tempo: A Agilidade Como Fator Decisivo Diante da Globalização do Mercado*. São Paulo: Futura.
- STRONG, A. B. (1996). *Plastics: Materials and Processing*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- WOHLERS, T. (1998). *Rapid Prototyping & Tooling – Worldwide Progress Report*. Colorado, USA.