

# Uso da Fabricação Digital e Prototipagem no Desenvolvimento do Projeto de Produto: Análises do Produto através de Simulações Digitais

Digital Manufacture and Rapid Prototyping in Product Design Development: Product Analysis through Digital Simulation

**Underléa Miotto Bruscato**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
underlea.bruscato@ufrgs.br

**Clariana Fischer Brendler**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
clafischer@hotmail.com

**Felipe Schneider Viaro**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
felipe.viaro@ufrgs.br

**Fábio Gonçalves Teixeira**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
fabiogt@ufrgs.br

**Régio Pierre da Silva**

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil  
regio@ufrgs.br

## Abstract

The aim of this paper is to design a public facility using both digital manufacture and rapid prototyping design methods. These new technologies have been used in product design development by some ways: helping in the comprehension of complex geometries; used as tools for analyzing the design process, thus avoiding errors in the project. The analysis were carried out using virtual simulation tests and physical prototype in reduced scale. The prototype was manufactured using the 3D printer V-Flash in the Virtual Design Laboratory – UFRGS, where positive and negatives aspects were identified and described.

**Keywords:** Digital manufacture; Rapid prototyping; Virtual simulation; Product design; Urban facilities.

## Introdução

Um dos principais benefícios do processo de fabricação digital e da prototipagem rápida é ter na visualização uma grande colaboradora da compreensão espacial, e os modelos podem ser destinados à produção em escala reduzida ou à produção de produtos finais, em escala 1:1 (PIPES, 2010). Prototipagem Rápida (RP) está sendo reconhecida como uma tecnologia muito importante para o processo de projeto. Os cursos de design começam a incorporar dispositivos de prototipagem rápida como um meio de representação do produto (PREECE et al., 2005). Os protótipos podem ser utilizados para estudos iniciais, análises ergonômicas e da geometria, modelos de avaliações de alternativas geradas ou para apresentações finais de projeto.

Devido à importância de aliar a fabricação digital e a prototipagem rápida ao processo de design foi desenvolvido, durante a disciplina de processos de fabricação digital, do programa de Pós-Graduação em Design, um projeto de mobiliário urbano para a cidade de Porto Alegre-RS. O mobiliário urbano desenvolvido contém uma tela interativa que fornece informações importantes, tais como: localização, itinerários de ônibus, mapa da cidade e acesso ao telefone de emergência.

O objetivo deste artigo é desenvolver um projeto de mobiliário urbano utilizando a fabricação digital e a prototipagem no desenvolvimento de projeto de produto para auxiliar na compreensão de geometria complexa e, assim, realizar análises através da simulação virtual. Através destas, foi possível a verificação de como o mobiliário urbano se comportaria nos diferentes pontos estratégicos na cidade bem como aspectos ergonômicos e grafismos no produto.

O protótipo físico foi realizado em escala reduzida e para sua execução foi utilizada a impressora 3D V-Flash do laboratório Virtual Design – UFRGS. Para o desenvolvimento do protótipo virtual da tela com interface interativa foi utilizado o software Adobe Fireworks.

## Fabricação Digital e o Design de Produtos

A fabricação digital utiliza sistemas de manufatura aditiva, também conhecida como prototipagem rápida ou manufatura restritiva, também conhecida como usinagem CNC. Os sistemas de manufatura aditiva baseiam-se na adição de camadas para

obtenção do produto. Na manufatura restritiva, o produto final é obtido através da remoção progressiva de material. Tanto na manufatura aditiva quanto na manufatura restritiva, a primeira etapa é a criação de um modelo virtual, desenvolvido em *softwares* CAD (*computer aided design*), que permitem a geração e manipulação de formas geométricas complexas em três dimensões. Nestes *softwares* é possível atribuir às peças diferentes tipos de materiais, texturas, volumes e formas, para estudar aspectos como, por exemplo, encaixes entre peças e montagem e desmontagem do produto.

Outra ferramenta utilizada no desenvolvimento de produtos por processos de fabricação digital são os sistemas CAE (*computer aided engineering*). Estes sistemas permitem simulações do produto como tensões, deformações, análise estrutural por meio de elementos finitos, preenchimento de matrizes, análise de dilatação térmica entre outros (ESPINOZA; SCHAFFER, 2004).

Na produção do produto criado através do CAD ou CAE, pode-se usar *softwares* conhecidos como CAM (*computer aided manufacturing*). Estes *softwares* fazem a ponte entre o modelo virtual criado pelo projetista e a máquina que vai trazê-lo ao mundo físico, como uma CNC ou uma máquina de corte a laser.

Os protótipos podem ser utilizados para resolver problemas de projeto e melhorar a compreensão que se tem do produto em desenvolvimento. Assim, podem auxiliar com a geração de ideias, testes com o usuário, comunicação e verificação de requisitos de projeto (HALLGRIMSON, 2012).

Na geração de ideias, o protótipo deve ser produzido de forma rápida e sem preocupações com detalhes. O objetivo é verificar experimentalmente se uma proposta deve ser seguida, através da exploração de diferentes aspectos do produto físico como materiais, tecnologias, forma e função (HALLGRIMSON, 2012).

## Introdução à Prototipagem Rápida

A prototipagem rápida é uma tecnologia recente e inovadora que vem sendo utilizada desde os anos 90 para produzir protótipos relativamente rápidos para a inspeção visual, avaliação ergonômica e análise da forma, para auxiliar no processo do desenvolvimento de um produto. "De acordo com os materiais utilizados no processos de prototipagem rápida, estes podem ser classificados em três grandes tipos, são eles: com base em pó, à base de resina e laminado a base de folhas" (CHOI; CHAN, 2005). Segundo os mesmos autores, os processos em pó à base de prototipagem rápida incluem a Sinterização Seletiva a Laser (SLS). A resina com base em processos de prototipagem rápida, tais como a estereolitografia, utiliza uma resina líquida, a qual é solidificada por exposição para um feixe de laser ultra-violeta. Os protótipos realizados com folhas laminadas é fabricado a partir de materiais de resina. Para o desenvolvimento deste trabalho, será

utilizado o processo de prototipagem rápida por estereolitografia, fazendo uso da resina líquida como material.

"O termo prototipagem rápida (*rapid prototyping*) refere-se normalmente aos métodos de produção de protótipos por sistemas aditivos" (PIPES, 2010). Com esse método, torna-se possível transformar modelos digitais com geometrias complexas em artefatos físicos. O processo de prototipagem rápida é um processo "aditivo", pois combina camadas de material polimérico para se criar um objeto sólido, permitindo a criação de objetos com características internas complicadas que não podem ser obtidas através de outros processos (GORNÍ, 2001).

## Processo de estereolitografia

O processo de estereolitografia, segundo Gorni (2001), é uma impressão 3D, que utiliza dados digitais CAD, constroem modelos tridimensionais a partir de materiais poliméricos líquidos fotossensíveis, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta. É um processo que se desenvolve camada por camada, e constrói peças tridimensionais precisas. "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" (GORNÍ, 2001). Uma vez pronto, os suportes são retirados e o modelo é introduzido em um banho de álcool isopropílico, e em seguida, um banho de água para limpeza. Após, o modelo é colocado em um forno de radiação ultravioleta para ser submetido a uma cura completa.

## Desenvolvimento do Projeto Apoiado pela Fabricação Digital e Prototipagem Física e Digital

O processo de desenvolvimento do projeto de mobiliário urbano para a cidade de Porto Alegre foi dividido em 3 etapas principais: modelagem; prototipagem; e fabricação digital. Essas etapas são apresentadas nos tópicos a seguir.

### Modelagem

Este tópico apresenta a primeira etapa do desenvolvimento do projeto, onde são geradas as alternativas de projeto relacionadas ao modelo tridimensional do mobiliário urbano, assim como à tela interativa presente nesse objeto.

Esta etapa tem como primeiro resultado o modelo tridimensional do mobiliário urbano, desenvolvido por meio de processos CAD. A forma resultante do processo de geração e seleção de alternativas de projeto teve como inspiração elementos da natureza local, i.e., a estrutura da pinha e cores encontradas nas folhas da Figueira (Figura 1).



**Figura 1:** Modelo tridimensional do mobiliário urbano com estudo de cores e grafismos.

O segundo resultado da etapa de modelagem foi o modelo de interface gráfica da tela interativa, desenvolvido utilizando o *software* Fireworks. Esta interface foi projetada utilizando pictogramas e textos curtos para uso em tela *touchscreen*, visando uma navegação intuitiva. As telas interativas são compostas por: um título; um menu principal, que apresenta pictogramas e textos curtos para seleção das categorias desejadas; um campo de pesquisa de endereços e lugares; e a tela principal, onde são apresentadas as informações requeridas pelo usuário.



**Figura 2:** Modelo de tela interativa.

## Prototipagem

Este tópico apresenta o processo de prototipagem, realizado por meio de testes no meio digital utilizando os dois modelos resultantes da fase de modelagem. Para o processo de prototipagem com o modelo tridimensional foi utilizado o protótipo de aparência para verificar requisitos ergonômicos e de adequação ao ambiente. Para testar a interface interativa, foi utilizado o protótipo de testes com usuário. Ambos os tipos de protótipos (i.e. protótipo de aparência e, de testes com o usuário) foram classificados segundo o modelo de Hallgrimson (2012).

A Figura 3 apresenta a simulação digital do mobiliário urbano frequentado por usuários, inserido em uma praça pública da cidade de Porto Alegre. A partir dessa simulação, foram verificados aspectos ergonômicos em relação à altura do banco (A), do local para carregar os equipamentos eletrônicos (B) e da adaptação da tela interativa (C). Também foi possível verificar o encaixe dos diferentes módulos desenvolvidos e a aplicação dos grafismos especificados no projeto. Além disso, o projeto do mobiliário foi considerado adequado ao ambiente, pois se destaca do fundo, podendo facilmente ser percebido pelo usuário.



**Figura 3** Prototipagem digital com o modelo tridimensional.

A Figura 4 apresenta os testes realizados com o usuário por meio do protótipo físico de baixa fidelidade da interface interativa. Com este protótipo, verificou-se se o tamanho dos ícones estavam adequados ao usuário. Além disso, foi avaliada a compreensão da interface pelos usuários, e se estes conseguiam realizar tarefas como encontrar um local específico e uma rota de ônibus que o levasse a este local.



**Figura 4:** Prototipagem da interface gráfica com modelo de testes com usuário.

Por meio da prototipagem realizada com os dois modelos desenvolvidos foram realizados ajustes na altura do banco e tamanho da tela interativa, adequando-os à antropometria dos usuários.



## Fabricação digital

Para execução do protótipo físico do mobiliário urbano, foi realizada uma pesquisa visando identificar qual seria processo de fabricação digital mais adequado na manufatura deste protótipo. A pesquisa envolveu três processos de fabricação digital em quatro localidades distintas.

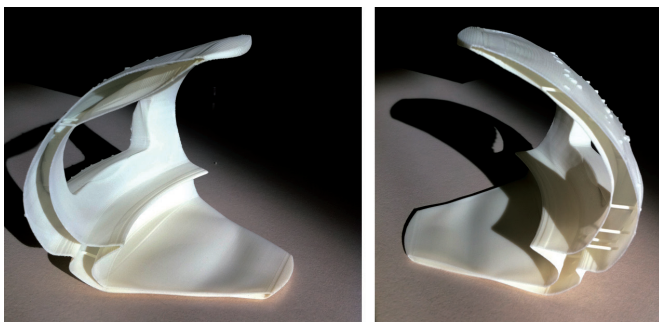
As pesquisas foram realizadas em três laboratórios da UFRGS, localizados em Porto Alegre, e em um laboratório do SENAI, em São Leopoldo. O Laboratório LDSM/UFRGS possui o processo de corte a laser (CNC); o laboratório LAMECC/UFRGS possui o processo de usinagem; enquanto que os laboratórios VID/UFRGS e CETEMP/SENAI utilizam os processo de impressão 3D. Devido à complexidade do modelo tridimensional, a opção mais eficaz na produção do protótipo físico é utilizando o processo de impressão 3D. Portanto, o protótipo foi produzido por meio do processo de prototipagem rápida utilizando a impressora 3D do laboratório VID/UFRGS.

A impressora 3D-Flash realiza seus modelos através do processo de estereolitografia. O tempo total do protótipo durou 8 horas. Após, a peça passou por um banho de álcool isopropílico por 30 minutos e, em seguida, por um banho de água para retirar o álcool. Por fim, o modelo físico é inserido em um forno de raio ultravioleta, permanecendo por 1 hora para realizar a cura total da peça. Para finalizar o processo, foi realizado um acabamento manual das rebarbas.

A partir do entendimento do processo, as etapas foram separadas em:

- Etapa pré-projetual: Conversão do arquivo CAD em formato STL, próprio para estereolitografia;
- Etapas de desenvolvimento: fatiamento do arquivo STL em finas camadas transversais; construção física do modelo, empilhando-se uma camada sobre a outra;
- Etapa de conclusão: limpeza e acabamento do protótipo.

As imagens do processo de manufatura do protótipo seguem na Figura 5.



**Figura 5:** Processo de prototipagem rápida pela impressora 3D V-Flash.

Observa-se que para otimizar o gasto de material para a construção do protótipo, foram realizados ajustes no modelo 3D

do mobiliário urbano: o preenchimento da estrutura foi retirado, ficando um espaço vazado entre duas lâminas unidas por hastes sustentadoras. A Figura 6 representa o resultado do protótipo gerado. A peça foi produzida em escala reduzida com altura de 7,5 cm.



**Figura 6:** Protótipo físico do mobiliário urbano.

O protótipo manufaturado foi eficaz na redução de material, entretanto, apresentou deformações em sua estrutura. Após uma verificação, constatou-se que o protótipo necessitaria de mais hastes ligando as duas lâminas do objeto e aumentar a espessura destas.

## Considerações Finais

O desenvolvimento do projeto de mobiliário urbano proporcionou um entendimento dos processos de fabricação digital, bem como, a utilização da prototipagem como ferramenta de avaliações de viabilidade e estrutura formal do projeto.

Nesse estudo, observou-se que a Fabricação Digital e a Prototipagem Rápida são ferramentas importantes na concepção e desenvolvimento projetual em design. Apóiam o processo criativo, o estudo de formas complexas, e a geração de artefatos diferenciados. Durante as fases iniciais do projeto, contribuem para a solução de problemas de design (remodelação), estruturais e de produção por meio de avaliações e testes aplicados ao modelo que reproduz a peça a ser construída em escala reduzida.

Os métodos de prototipagem, utilizados no meios digital e físico, são complementares e podem ser executados paralelamente durante o desenvolvimento do projeto de design. O protótipo digital, construído em *softwares* CAD e fiel a solução final, permitiu realizar testes de ergonomia, usabilidade, adequação ao ambiente e com o usuário. O protótipo físico permitiu a visualização do modelo no ambiente físico, entretanto, ainda necessita de ajustes para superar as deformações identificadas neste objeto.

O método de fabricação digital com o uso de impressoras 3D torna possível a manufatura, de forma rápida, de protótipos a partir de modelos tridimensionais complexos. Assim, é possível visualizar e testar no meio físico os requisitos de projeto de forma rápida e, assim, auxiliar no desenvolvimento de projetos de produto.

## Agradecimentos

Agradecemos aos colegas da UFRGS Gerson Klein, Edward Thieme e Ana Lorenzon que pela contribuição no desenvolvimento do projeto do mobiliário urbano.

## Referências

- CAPUANO, Enedin; CARVALHO. Prototipagem Rápida: a escolha da tecnologia PR mais adequada à estratégia para o desenvolvimento de produtos. ENEGEP, SP, 2000.
- CHOI, S.H.; CHAN, A.M.M. A virtual prototyping system for rapid product development. *Computer-Aided Design* 36 (2004) 401–412.
- CYBIS, Walter (et. al). Ergonomia e usabilidade: conhecimentos, métodos e aplicações. São Paulo: Novatec Editora, 2010.
- KIMBERLY, Elam. Geometria do Design: estudos sobre proporção e composição. São Paulo: Cosac Naify, 2010.
- FLEMING, J. Web Navigation: Designing the User Experience. Sebastopol: O Reilly & Associates, 1998.
- FILATRO, Andrea. Design instrucional na prática. São Paulo: Pearson Education Brasil, 2008.
- FISH, J., & Scrivener, S. (1990). Amplifying the Mind's Eye: Sketching and Visual Cognition. *Leonardo*, pp. 117-126.
- GOEL, Ashok K.; VATTAM, Swaroop; WILTGEN, Bryan; HELMS, Michael. Cognitive, collaborative, conceptual and creative — Four characteristics of the next generation of knowledge-based CAD systems: a study in biologically inspired design. *Computer-Aided Design* 44 (2012) 879–900.
- GOLDSCHMIDT, G. (1991). The Dialectics of Sketching. *Creativity Research journal*, 123-143.
- GORNI, A. A. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. *revista Plástico Industrial*. (2001) 230-239.
- GRUBER, Petra; IMHOF, Barbara. Transformation: Structure/space studies in bionics and space design. *Acta Astronautica* 60 (2007) 561–570.
- KOCHAN, Detlef, KAI, Chua Chee; ZHAOHUI, Du. Rapid prototyping issues in the 21st century. *Computers in Industry* 39 (1999) 3–10.
- NIELSEN, J. Usability engineering. San Francisco: Morgan Kaufman, 1994. FORLIZZI, J. Designing for Experience: An Approach to Human-Centered Design. Master of Design in Interaction Design Thesis, Carnegie Mellon University, 1997.
- NORMAN, D. The design of every day things. New York, 2002.
- PIPES, A. (2010). Desenho para Designers. São Paulo: Editora Blucher. GIBSON, J. J. The Theory of Affordances. In: SHAW, R.; BRANSFORD, J. Perceiving, Acting, and Knowing. Hillsdale: Erlbaum, 1977.
- PREECE, J.; ROGERS, I.; SHARP, H. Design de Interação: Além da Interação Humano-Computador; Porto Alegre: Bookman, 2005.
- PUPO, R. Ensino da prototipagem rápida e fabricação digital para arquitetura e construção no Brasil: definições e estado da arte. Campinas: PARC n.3, vol.1, 2008.
- SASS, Larry. Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design. *Design Studies* Vol 27 No. 3 May 2006.
- SCHON, D. A. (1984). The Reflective Practitioner: How Professionals Think In Action. New York: Basic Books.
- VOLPATO, N. Prototipagem Rápida: Tecnologia e Aplicações. São Paulo: Edgar Blucher, 2007.
- ZHAO, Ling; MA, Jianfeng; WANG, Ting; XING, Denghai. Lightweight Design of Mechanical Structures based on Structural Bionic Methodology. *Journal of Bionic Engineering* 7 Suppl. (2010) S224–S231.