

Tecnologias de prototipagem Rápida: uma experimentação com diferentes técnicas e materiais

Douglas Daniel Pereira;

Jamile Noretza de Lima Lanutti;

Diego Dalvan Pereira;

Luis Carlos Paschoarelli;

Olimpio José Pinheiro;

resumo:

As tecnologias de Prototipagem Rápida Aditivas e Prototipagem Rápida Subtrativas apresentam grande inovação na indústria no desenvolvimento de produtos. Essas tecnologias cada vez mais vem auxiliando designers durante as etapas de desenvolvimento do projeto de um produto. Afinal, além de permitirem uma rápida visualização do projeto, uma vez que estão atreladas a softwares de modelagem 3D, estas também permitem uma rápida avaliação física do produto nas diversas etapas.

Assim, esta tecnologia permite uma interação entre o produto que está sendo desenvolvido e a equipe de projeto, permitindo também a realização de testes de uso e de aceitação estética com possíveis usuário. No entanto, toda essa explosão tecnológica ainda é pouco difundida e pouco ou sub-utilizada por estudantes e alguns profissionais de Design, o que faz com que muitas vezes não se tenha a real noção de custos, tempo, qualidade e potencial dessas tecnologias. Dessa forma este trabalho objetiva comparar, segundo aspectos relevantes para o Design, seis modelos desenvolvidos por técnicas de prototipagem rápida, com quatro diferentes técnicas, sendo duas de Prototipagem Rápida Aditiva e duas com Prototipagem Rápida Subtrativa. Para isso, elegeu-se um produto já existente no mercado e reconhecido pelo bom design em premiações da área, que serviu de base para a construção dos seis modelos com cinco tipos de materiais. Estes modelos foram comparados e classificados, seguindo critérios como: Tamanho, Peso, Custo e Tempo de execução. A partir dessa comparação pode-se observar que existem diferenças relevantes no que diz respeito a custos e tempos de execução entre as diferentes técnicas, mas também quanto ao tamanho e ao peso, e a proximidade com o produto final. Diferenças que permitem reflexões acerca da aplicação desses modelos na atividade do Designer.

palavras-chave: Design; Modelagem; Protótipos; Prototipagem Rápida

1. Introdução

O Design é uma atividade muito ampla, que consiste em criar produtos, objetos ou sistemas que serão em seguida fabricados e comercializados. Esses objetos vão interagir com o homem ao longo da sua vida facilitando suas atividades diárias e a sua sobrevivência, podendo estar relacionados às atividades profissionais ou cotidianas.

De acordo com Volpato et al. (2007) "o processo de desenvolvimento de produtos tem a necessidade de um ambiente de trabalho altamente flexível, especialmente nas fases iniciais de concepção onde o profissional fará uso de diversas tecnologias, permitindo explorar a criatividade que está intimamente relacionada com a inovação, exigindo uma abordagem integrativa que permita alta flexibilidade no desenvolvimento do produto.

Neste contexto, construção de modelos físicos e representações tridimensionais (3D) de objetos e produtos é de grande importância, pois os mesmos simulam determinadas propriedades dos objetos ou produtos em estudo, permitindo corrigir defeitos e insuficiências do produto durante as etapas de projeto (PENNA, 2002).

Atualmente a abundância de programas gráficos e novas tecnologias, como o CAD (Computer Aided Design), e as representações visuais por computação estão ligadas, a quantidade, a qualidade, a precisão e a velocidade com que se pode realizar um projeto, além disso, o avanço no processo de imagens permite ampliar ainda mais a aplicação dos sistemas computadorizados ao projeto (ABRAMS, 1990).

Assim a pesquisa e a associação dessas novas tecnologias com as fases de desenvolvimento de produto em design corroboram para a obtenção de peças físicas melhor acabadas, de qualquer forma e em dimensões finais, com complexidade e detalhes que permitem ao design interferir e fazer qualquer modificação em qualquer fase do projeto. Esse trabalho tem como objetivo a comparação de diversas técnicas de prototipagem rápida aditivas e subtrativas, utilizando e classificando essas técnicas e materiais, levando em consideração critério como Tamanho, Peso, Custo e Tempo de execução, elegendo para isso um produto que servirá de exemplo a fim de gerar comparações entre os modelos desenvolvidos.

2. Referencial Teórico

2.1 Classificação das técnicas de Prototipagem Rápida

As técnicas de Prototipagem Rápida apresentam o que há de mais inovador e tecnológico se tratando do desenvolvimento de protótipos. E de acordo com Lima (2010), a Prototipagem Rápida pode ser definida como um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador.

A Prototipagem Rápida surgiu em meados dos anos 80. E de acordo com Gorni (2001) pode ser definida como um conjunto de tecnologias usadas para se fabricar objetos físicos diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador. Segundo o autor elas representam um conjunto de tecnologias usadas para fabricar objetos físicos diretamente a partir de modelos sólidos tridimensionais gerados em sistemas de projeto auxiliados por computador.

Gorni (2001) identifica as etapas principais nos processos de Prototipagem Rápida, segundo o autor, depois de criado o modelo CAD 3D, os arquivos convertem-se no formato .SLT (utilizado na estereolitografia), para ser importados em qualquer das máquinas já mencionadas. Segue-se o fatiamento do arquivo .STL em finas camadas transversais e a construção física do modelo, empilhando-se as várias camadas. O processo é concluído com a limpeza e acabamento do protótipo.

Segundo Sass (2005) a Prototipagem Rápida possibilita uma produção rápida de modelos, podendo ser utilizada nas mais diferentes fases do desenvolvimento de produtos industriais, seja na demonstração de conceitos, no teste e simulação de formas, seja na visualização e discussão do projeto.

Segundo Gorni (2001, p.230), os sistemas de prototipagem rápida quando comparados com os processos "tradicionais" de prototipagem, oferecem vantagens significativas em diversas aplicações; por exemplo, por permitir criar protótipos mais complexos, com maior rapidez e a custos inferiores.

Sass (2005), ainda afirma que, o grande desenvolvimento destas tecnologias, caminhou junto com a rápida evolução dos softwares, proporcionando um crescimento em qualidade das representações físicas. Ao que Martins (2010) acrescenta que atualmente, os sistemas de Prototipagem Rápida podem acelerar o desenvolvimento de projetos de formas e espaços cada vez mais complexos e com maior precisão, conferindo maior tangibilidade entre a forma do protótipo e o objeto. Embora essas tecnologias carreguem certa dificuldade para representar o peso e outras propriedades do produto em questão uma vez que não se trata da utilização do material definitivo.

Segundo Carvalho e Volpato (2007, p.2) esta é uma tecnologia recente que tem se tornado uma ferramenta importantíssima dentro do processo de Desenvolvimento de Produtos. A maioria dos processos são baseados na adição de material aplicado em camadas planas, cujo diferencial é a relação aos processos de adição mecânicos é a facilidade de automatização, dispensando moldes e ferramentas, o que otimiza consideravelmente a intervenção do operador durante o processo de confecção.

Para Barbosa (2009) a Prototipagem Rápida pode ser considerada como uma relevante ferramenta de comunicação, sendo uma linguagem instrumental utilizada para redução do tempo de desenvolvimento dos produtos industriais, que propicia uma comunicação de maior eficácia entre o desejado e o realizado.

Na busca deste objetivo a aplicação de uma metodologia de projeto e o uso de ferramentas computacionais CAD (Computer Aided Design), CAE (Computer Aided Engineering), CAM (Computer Aided Manufacturing), são fundamentais para auxiliar no processo de desenvolvimento de um produto. Todo o processo de prototipagem rápida é desenvolvido sem a necessidade de moldes e em alguns projetos essas tecnologias permitem até a impressão de moldes quando for necessário.

As tecnologias de Prototipagem Rápida podem utilizar tanto os processos de subtração, quando se retira material dando a forma ao objeto, utilizando para isso tornos, CNC e fresadoras, como o processo de adição de material que pode ser por aglutinação de pó, plástico derretido ou resina curada por laser ou pela luz. Cada tecnologia apresenta a suas características físicas no aspecto de acabamento, detalhes, cores e resistência, tendo cada uma delas vantagens e desvantagens.

2.1.1 Prototipagem Subtrativa

2.1.1.1 CNC

De acordo com Macarrão (2004) as máquinas de usinagem de alta velocidade CNC proporcionam ganhos significativos no tempo de fabricação e principalmente na qualidade da superfície do modelo. Em relação ao processo manual, sendo usinagem um processo de fabricação de superfícies por remoção de material.

Para Alcoforado (2014) trata-se de um processo subtrativo onde um bloco de material pode ser desgastado pela ação de uma fresa controlada numericamente por computador (CNC). Isso ocorre a partir do envio a fresa de dados numéricos de traçados gerados pelo aplicativo da fresadora, com o objetivo de reproduzir a superfície do protótipo virtual 3D gerado no computador.

Existem diversos materiais que podem ser utilizados para fresar permitindo a produção de peças em alumínio, ligas de titânio, ou mesmo ferramentas de aço endurecido, madeiras, polímeros como o ABS, Resinas e espumas de Poliuretano (PU). Por se tratar de uma tecnologia subtrativa, existem algumas limitações para essa tecnologia, como o fresamento de peças ocas, ângulos extremos ou cavidades muito negativas. Para Yang e Ryu (2001), as máquinas de usinagem de alta velocidade são melhores em redução de tempo e custo em relação às técnicas de Prototipagem aditivas como SLA, SLS e FDM em casos em que o produto não possua cavidades.

Segundo Schmitz et al. (2001), a fim de se melhorar a eficiência das usinagens CNCs, foram desenvolvidos alguns métodos que visavam o aumento da velocidade de usinagem, pois os processos disponíveis de Prototipagem aditiva estavam se tornando mais rápidos e baratos. Assim, as máquinas de usinagem de alta velocidade, quando utilizadas com inteligência, permitem a construção de modelos em menos tempo do que a maior parte das máquinas de Prototipagem aditiva na fabricação de um modelo em resina, por exemplo.

2.1.1.2 Fresadoras

Segundo Alcoforado (2014), de forma semelhante à fresadora CNC, a Router executa um processo de fresamento, onde uma placa de material pode ser desgastada pela ação de uma fresa controlada numericamente por computador.

A Router apresenta uma gama de possibilidades de usinagem sendo possível cortar, arredondar, fresar, desgastar, furar, esculpir, gravar superfícies planas - como placas e chapas. Além disso, esta tecnologia é compatível com diversos materiais como: aço, alumínio, acrílicos, aglomerados, latão, fórmicas, MDF, Madeiras e polímeros em geral. Segundo Cadep (2014), além de trabalhar com arquivos a partir de projetos executados em softwares vetoriais, esse equipamento gera uma estratégia própria de corte e caminho de ferramenta, estando apta a executar cortes em 2D e/ou modelar em 3D uma ampla variedade de materiais. Essa tecnologia permite controlar altura e acabamento de cada vetor e região, além do maior aproveitamento de área, no caso do corte de placas, redução de perdas e desperdícios de material e cortes precisos e bem acabados, independente do desenho e do material.

2.1.2 Prototipagem aditiva

2.1.2.1 Estereolitografia (SLA, Stereolithography Apparatus)

Patenteado em 1986, segundo Lima (2010), este processo pioneiro deflagrou a revolução da prototipagem rápida. Construindo modelos tridimensionais a partir de polímeros líquidos sensíveis à luz, que se solidificam quando expostos à radiação ultravioleta (UV). Este processo permite imprimir peças que oferecem alta precisão e bom acabamento superficial e uma grande variedade de materiais, como: ABS, Poliestireno (PS), Polipropileno (PP) e Policarbonato (PC) (GORNÍ, 2001).

Macarrão (2004) explica a máquina que realiza este processo de impressão 3D possui um recipiente com uma resina fotossensível que se polimeriza em contato com o feixe de luz. Dentro deste recipiente existe uma plataforma presa a um elevador, que inicialmente é posicionada abaixo do nível da resina, a distância igual à espessura da primeira camada do modelo, assim feixe de raio laser de alta precisão de foco é direcionado por um conjunto de lentes e espelhos que traça a primeira camada polimerizando a secção transversal do modelo sucessivamente.

De acordo com a 3Dsystem (2015), as suas principais aplicações são: Desenvolvimento de modelos estéticos, Design Appearance Models, Protótipos para prova de conceito, Modelos de Avaliação do design, Modelos de prova de engenharia e Modelos de teste para túnel de vento.

2.1.2.2 Impressão Tridimensional com pó (3D Print)

Macarrão (2004) afirma que o processo de impressão em 3D também tem o conceito da construção do modelo por deposição de camadas. Desenvolvido pela Z Corporation, este processo utiliza uma máquina que opera de maneira similar às impressoras a jato de tinta para papéis.

Segundo Relvas (2002) ao contrário das outras técnicas de prototipagem rápida esta se refere a uma classe inteira de equipamentos que usam a tecnologia de jato de tinta, ou seja, os protótipos são construídos sobre uma plataforma situada num recipiente preenchido com material pulverulento. Assim um cabeçote de impressão por jato de tinta "imprime" seletivamente um agente aglutinante, durante esse processo o pó dentro do recipiente da sustentação serve como suporte ao protótipo que está sendo formado.

Conforme vão sendo criadas as camadas, a plataforma é ligeiramente abaixada e o processo se repete, pode-se usar nesse processo pós de materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos. No final a peça é retirada da máquina, recebe um jato de ar que retira todo o excesso de pó e o objeto é endurecido com cianoacrilato, como se trata de formação de camadas a superfície externa do modelo terá aparência semelhante a degraus.

Alcoforado (2014) afirma que algumas impressoras imprimem os modelos coloridos, usando os mesmos quatro cartuchos de uma impressora doméstica (preto, ciano, magenta e amarelo) que permitem formar até 39.000 cores diferentes, durante a impressão de cada camada, ou seja, os modelos podem sair com representação de cores e texturas em suas superfícies.

3. Objetivo

Este trabalho tem como objetivo comparar as diversas técnicas de prototipagem rápida, utilizando e classificando variadas técnicas e materiais, levando em consideração critério como Tamanho, Peso, Custo e Tempo de execução, elegendo para isso um produto que servirá de exemplo a fim de gerar comparações entre os modelos desenvolvidos.

4. Materiais e Métodos

Com base nas atuais tecnologias de prototipagem rápida aditivas e subtrativas e a sua inserção no âmbito do desenvolvimento de produto em Design, esse trabalho realizou um levantamento das tecnologias de prototipagem rápida e os materiais que são utilizados nas mesmas a fim de compará-las na construção de um mesmo modelo.

4.1 Objeto de estudo

Para a realização desse trabalho foram confeccionados modelos por meio de diferentes técnicas de prototipagem rápida – Aditivas e Subtrativa. No entanto, como era necessário que os modelos utilizados permitissem uma avaliação igualitária, independente da técnica de produção do mesmo, foi necessária a busca por um produto no qual as questões relacionadas ao Design de produto estivessem estabelecidas.

Assim selecionou-se uma embalagem cuja escolha foi determinada pelos prêmios que a mesma ganhou na área do Design de Produto e do Design de embalagem (Prêmio Abre de embalagem, Prêmio Embalagem Marca, Premio brasileiro de embalagem Troféu Roberto Hiraishi, por exemplo), apresentada na figura 01.



Figura 01 – Embalagem de cappuccino.

FONTE: <http://www.embalagemmarca.com.br>. Acessado em 20 de abril de 2015.

4.2 Construção de modelos

Foram confeccionados 6 modelos, com 4 técnicas diferentes e 5 tipos de materiais, conforme relatado na Figura 02.

Modelos	Equipamento/técnica	Material
M1	CNC Roland	Espuma PU
M2	CNC Roland	MDF / Cola
M3	CNC Router	MDF / Cola
M4	CNC Roland	Cibatool
M5	Z Printer	Pó / Aglutinante
M6	Z Builder	Resina SL500

Figura 02 – Modelo confeccionado por prototipagem rápida Aditiva / Subtrativa.

FONTE: Do Autor.

Os modelos foram produzidos no Omitido para revisão Cega e foram desenvolvidos em quatro diferentes técnicas de prototipagem rápidas, sendo duas técnicas subtrativas e duas técnicas aditivas.

Nas técnicas subtrativas foram utilizados três tipos de materiais (Cibatoool, Espuma de PU e MDF), já nas técnicas aditivas dois materiais (Pó com aglutinante e Resina SL500). Lembrando que para a confecção dos modelos foi necessário o desenvolvimento de um modelo virtual.

4.2.1 Modelo virtual CAD.

Modelo Virtual CAD, confeccionado no software SolidWorks® que serviu de base para as impressões e usinagens (Figura 03). Lembrando que o modelo virtual deve ser salvo na extensão .stl.



Figura 03 – Modelo Virtual CAD.

FONTE: Do Autor.

4.2.2 Modelo na CNC Roland.

Modelo Usinado em Cibatoool na CNC Roland, primeiro tema preparação do arquivo digital, em seguida inicia-se a usinagem das partes do modelo (Figura 04). Esta é uma técnica subtrativa.

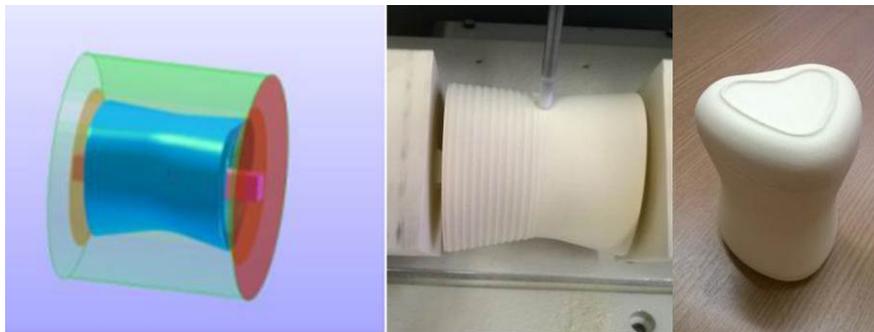


Figura 04 – Modelo confeccionado na CNC Roland.

FONTE: Do Autor.

4.2.3 Modelo na Router CNC.

Modelo Usinado em madeira (MDF) na CNC Router (Fresadora, a primeira stapa é a preparação do arquivo digital, em seguida inicia-se a usinagem das partes do modelo (Figura 05). Esta é uma técnica subtrativa.



Figura 05 – Modelo confeccionado na Fresadora CNC Router.

FONTE: Do Autor.

4.2.4 Modelo na Z Printer.

Modelo impresso na ZPrinter, que consiste da aglutinação de camadas de pó materializando assim o modelo (Figura 06). Esta é uma técnica aditiva.



Figura 06 – Modelo confeccionado na Fresadora CNC Router.
FONTE: Do Autor.

4.2.5 Modelo na Z Builder.

Modelo impresso na Z Builder, esta tecnologia consiste de um laser que vai curando um tipo específico de resina camada por camada até a construção total do modelo (Figura 07). Esta é uma técnica aditiva.

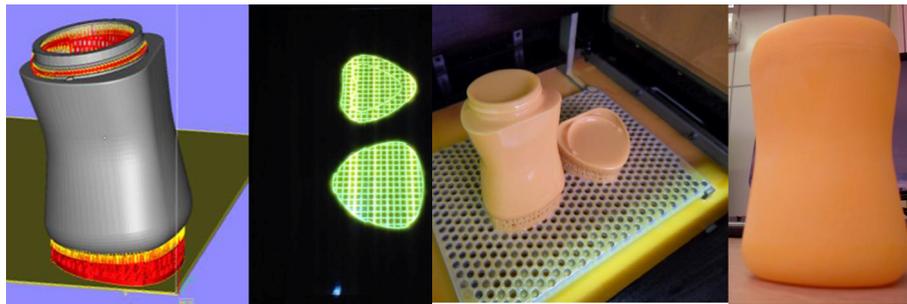


Figura 07 – Modelo confeccionado na impressora Z Builder.
FONTE: Do Autor.

4.3 Comparação do modelos

A fim de permitir que os modelos fossem comparados, pensou-se em parâmetros que pudessem ser medidos e quantificados. Assim, os modelos foram medidos com ajuda de um Paquímetro Digital de 300mm/12” Absolute da marca Mitutoyo, utilizado para coleta de do comprimento (Figura 08 a) e pesados em uma Balança Eletrônica Filizola, modelo MF – 3/1, com peso máximo de três Quilogramas e mínimo de 10 gramas (Figura 08 b).



Figura 08 – (a) Paquímetro Digital Mitutoyo, utilizado na medição dos modelos. (b) Balança Digital.
FONTE: (a) <http://www.mitutoyo.com.br>. Acessado em: 4 de fevereiro de 2015. (b) <http://www.balancasnet.com.br>. Acessado em: 4 de fevereiro de 2015.

Além disso, todo material utilizado para produção dos modelos foi quantificado quanto a custo, juntamente com o custo para produção de cada modelo e mediu-se o tempo de execução dos mesmos. Gerando-se assim, parâmetros de comparação.

3.Resultados e Discussões

3.1 Pesos e dimensões

Os modelos foram pesados um a um e tabulados para serem comparados ao objeto que serviu de referência para a construção dos mesmos.

Em relação ao peso, as técnicas de prototipagem, tanto subtrativas quanto aditivas, mostraram alguma proximidade ao peso da embalagem original, ora em relação a embalagem vazia, ora em relação a cheia. Mas nenhuma das técnicas conseguiu atingir o peso do objeto original (Figura 09).

MODELOS	Objeto Original vazio	Objeto Original cheio	M1	M2	M3	M4	M5	M6
PESO (g)	44.5	249.5	55.5	352.0	331.0	160.0	148.0	95.5

Figura 09 – Pesos dos modelos.

FONTE: Do Autor.

Destacam-se pela aproximação do peso do objeto original vazio os modelos M1(Espuma de poliuretano), confeccionado por técnica subtrativa e o modelo M6 (Resina SL500), impresso na Z Builder e que por se tratar de um técnica aditiva apresenta funcionalidade uma vez que tem a mesma espessura e características do objeto original vazio (Figura 10), ou seja, permite a abertura.

Na comparação de peso com objeto original cheio nenhum modelo se aproximou do peso original, tendo ocorrido sempre uma grande variação, para mais ou para menos.

Desatacando-se como os mais pesados os modelos confeccionados em MDF (M2 e M3), o que está relacionado ao material e não a tecnologia utilizada, uma vez que M1 foi confeccionado com a mesma tecnologia do M2 mas com material leve. A isto se destaca por demonstrar a capacidade da tecnologia CNC Roland de permitir o controle de peso do modelo que se deseja.

Assim, em relação ao peso, pode-se afirmar que em projetos onde a questão do peso do protótipo é essencial deve haver a necessidade de controlar o material a fim de se obter o peso desejado nas técnicas apresentadas neste trabalho.

Os modelos também foram medidos com um paquímetro digital a fim de se obter precisão em relação ao comprimento dos modelos. E observou-se que todos os modelos tiveram uma grande aproximação com o objeto original, apresentando diferenças de 1 a 4 mm para mais ou para menos (Figura 10).

MODELOS	Objeto Original vazio	Objeto Original cheio	M1	M2	M3	M4	M5	M6
DIMENSÃO (mm)	119.1	119.1	120,7	121,3	118,2	121,0	120,0	120,4

Figura 10 – Medidas dos modelos.

FONTE: Do Autor.

Podendo-se afirmar que quanto ao critério dimensão todos os modelos apresentaram um resultado satisfatório, o que é importante, pois nas fases de desenvolvimento de um produto é fundamental que os modelos e protótipos apresentem as dimensões próximas do que se deseja.

No entanto, vale lembrar que todos os modelos foram produzidos a partir do mesmo arquivo digital, com dimensões iguais as da embalagem original. E assim sendo, ressalta-se que os modelos M3 e M5 foram aqueles com dimensões que mais se aproximaram do original. M3 tendo sido produzido em MDF e usinado pela CNC Router, ao que pode se afirmar ter sido mais precisa que a CNC Roland. E M5, produzido em pó e aglutinante pela Z Printer, que embora seja produzido por processo aditivo, assim como o modelo M6, produzido em Resina SL500 pela Z Builder, não passa por processo de cura que possa sofrer retração.

3.2 Custos

Em relação aos custos, destaca-se que os modelos foram construídos com o que há de mais sofisticado em se tratando de materiais e tecnologias de prototipagem, o que torna bastante válida a análise de custo de cada modelo, com custo de matéria prima, tecnologias e mão de obra, além do tempo de execução.

Destaca-se que a análise foi realizada a partir do custo dos materiais no mercado e a tecnologia foi quantificada com uma média feita entre empresas que fazem este tipo de modelo, somando a esses valores o custo do modelo virtual (Figura 11).

Modelos	Equipamento/técnica	Material	Custo final do modelo (R\$)	Tempo (h)
M1	CNC	Espuma PU	930,00	127
M2	CNC Roland	MDF / Cola	980,00	127
M3	CNC Router	MDF / Cola	870,00	127
M4	CNC	Cibatool	850,00	127
M5	Z Printer	Pó / Aglutinante	1680,00	128
M6	Z Builder	Resina SI 500	2230,00	127

Figura 11 – Comparação de custos e tempo de execução dos modelos por prototipagem rápida.
FONTE: Do Autor.

Nota-se que as tecnologias de prototipagem rápida apresentam um custo mais elevado na confecção de modelos e protótipos, parte desse custo pode estar ligado a construção do modelo 3D, uma vez que para se utilizar uma tecnologia de prototipagem aditiva ou subtrativa é necessário um modelo digital tridimensional, que serve de base para a impressão ou usinagem. Com isso se o designer não tiver experiência e habilidade para construir esse modelo 3D, o mesmo terá que ser construído por um profissional em modelagem 3D, conseqüentemente aumentando o custo da produção.

Em relação às tecnologias subtrativas nota-se uma aproximação de custo em relação aos modelos M1 (Espuma de Poliuretano) e M2 (MDF / Cola) ambos confeccionados na CNC Roland. Já as tecnologias aditivas de maneira geral destacam-se pelo alto custo (Figura 12). Custo esse que é compensado pela possibilidade de testes funcionais, pois esse tipo de tecnologia permite a confecção de um modelo que se aproxime ao máximo do produto original.

Assim, é válido ressaltar que mesmo se tratando de sofisticadas tecnologias a prototipagem rápida deve ser empregada nas fases do projeto de desenvolvimento de um produto de maneira ponderada, pois se não for pensada pode encarecer um projeto que necessite da construção de diversos protótipos.

3. Conclusão

Esse estudo apresenta a construção e a comparação de alguns modelos em algumas das tecnologias de prototipagem rápida aditivas e subtrativas, evidenciando cada técnica em relação ao tempo e o custo, além de peso e dimensões. Permitindo assim refletir sobre a relevância dessa tecnologia dentro do processo de desenvolvimento de produto.

Com isso é possível refletir que as tecnologias de prototipagem rápida representam o que há de mais inovador no que se refere à confecção de modelos e protótipos. Sendo nítido que essas tecnologias possibilitam modelos que atendem a diversos requisitos, como maior fidelidade às dimensões e também a construção de modelos funcionais. Isso dentro de um projeto de desenvolvimento de produto só tende a agregar em termos de possibilidade de um projeto ser de fato efetivo.

Por outro lado essas tecnologias devem ser bem pensadas e utilizadas para cada momento específico do desenvolvimento de um produto, uma vez que o custo destas técnicas podem tornar um projeto oneroso, se tornando um desperdício de tempo e dinheiro. Principalmente se utilizadas nas fases iniciais, momento esse que o protótipo pode sofrer diversas modificações.

Para futuros estudos seria interessante complementar outras tecnologias e materiais, estabelecendo em quais etapas do desenvolvimento de produto elas poderiam ser empregadas e novos testes poderiam ser realizados com os modelos, a fim de se estabelecer outras diretrizes, principalmente no que tange testar a aplicação destes modelos no desenvolvimento de projetos reais.

Por fim é importante destacar o quanto a prototipagem rápida crescido, pois hoje está inserida nas mais diversas áreas e projetos. O que faz com que tanto os profissionais de Design, quanto os estudantes, busquem se atualizar ou mesmo se adaptar a essa nova tecnologia.

Rapid prototyping technologies: an experiment with different techniques and materials

Abstract:

Rapid Additive Prototyping and Rapid subtractive Prototyping technologies present great industry innovation in product development. These technologies are increasingly aiding designers during the development stages of designing a product. After all, in addition to allowing a quick visualization of the project, since they are tied to 3D modeling software, these also allow a quick physical evaluation of the product in the various stages. Thus, this technology allows an interaction between the product being developed and the design team, also allowing the accomplishment of tests of use and aesthetic acceptance with possible users. However, all this technological explosion is still little spread and little or underused by students and some Design professionals, which often means that one does not have the real notion of costs, time, quality and potential of these technologies. In this way, this work aims to compare, according to aspects relevant to the Design, six models developed by rapid prototyping techniques, with four different techniques, two of Rapid Additive Prototyping and two with Rapid Prototyping Subtractive. For this, a product already existing in the market was chosen and recognized by the good design in awards of the area, that served as base for the construction of the six models with five types of materials. These models were compared and classified, following criteria such as: Size, Weight, Cost and Execution time. From this comparison it can be observed that there are significant differences in costs and execution times between different techniques, but also in terms of size and weight, and proximity to the final product. Differences that allow reflections on the application of these models in the Designer activity..

Keywords: Design; Modeling; Prototyping; Rapid Prototyping

Referências bibliográficas

- ALCOFORADO, M. G. **Metodologia de Design Mediada por protótipos**. 2014, 460 p. Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação, Unesp, Bauru.
- BARBOSA, R. T. **Design & Prototipagem: Conhecimento e uso da prototipagem Rápida no Design Brasileiro**. 2009, 198p. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação, Unesp, Bauru.
- CARVALHO, J.; VOLPATO, N. **Prototipagem Rápida como processo de fabricação**. In: **Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações**, São Paulo: Edgar Blücher, 2007.
- GORNI, A. A. **Introdução à Prototipagem Rápida e Seus Processos**, Revista Plástico Industrial, Março 2001, pp.230-239.
- MACARRÃO, Leonardo Júnior. **Importância do uso de mock-ups e de técnicas de prototipagem e ferramental rápido no processo de desenvolvimento de produto na indústria automotiva**. 2004, 141p, Dissertação (Mestrado), USP, São Paulo.
- MARTINS, A. F. P. **Da maquete para o desenho: meios de representação tridimensional no design de artefactos**. 2010, 149p, Dissertação (Mestrado) Universidade de Aveiro, Aveiro.
- PEREIRA, D. D. **O uso da modelagem aplicada à ergonomia no desenvolvimento de produtos**. 2015, 176 f., Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2015
- RELVAS, C. A. M.; **Processos de prototipagem rápida no fabrico de modelos de geometria complexa: Estudo realizado sobre modelo anatômico da mão**. 2002, 121p Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- SASS, L. **Materializing design: the implications of rapid prototyping in digital design**, Elsevier Ltd, Design Studies 27, 2006, pp. 325-355.
- SCHMITZ, T. et al. **The application of high-speed CNC machining to prototype production**. International Journal of Machine Tools & Manufacture. 41, p. 1209-1228, 2001.
- VOLPATO, N. et. al **Integração da prototipagem rápida com o processo de desenvolvimento de produto**. In: Prototipagem Rápida: Tecnologias e aplicações, São Paulo: Edgar Blücher, 2007.
- YANG, M. Y.; RYU, S. G. **Development of a composite suitable for rapid prototype machining**. Journal os Materials Processing Technology. 113, p. 280-284, 2001