

Protótipo rápido de elementos construtivos produzidos pela tecnologia de sinterização seletiva a laser

Rapid prototyping of constructive elements produced by the technology of selective laser sintering

Wilson Florio

Universidade Estadual de Campinas / Universidade Mackenzie, Brasil
wflorio@iar.unicamp.br / wflorio@uol.com.br

ABSTRACT

The aim of this paper is to examine the physical models of constructive elements from the use of technology of selective laser sintering (SLS). The main stages in the production of rapid prototyping (PRs) were as follows: 1. Parametric Modeling (MP); 2. Geometric modeling; 3. Preparation of geometric model; 4. Execution of PR. This research contributes to debate on parametric modeling (MP) and the fabrication of very delicate physical models by technology SLS, particularly for purposes of viewing and technical evaluation during the design process in architecture.

KEYWORDS: Modelagem geométrica; Prototipagem Rápida; SLS; Processo de Projeto; Modelagem Paramétrica

A complexidade de concepção e de execução de elementos construtivos no espaço na atualidade exige, cada vez mais, dos arquitetos e dos engenheiros, modos de controle das informações vinculados aos seus projetos. Nesse sentido, a modelagem de informações do edifício e a modelagem paramétrica (MP) têm se tornado cada vez mais importantes para a precisão e o controle do processo de projeto. Todavia, para a visualização plena destes elementos no espaço, muitas vezes é necessário modos mais tangíveis de avaliação dos modelos geométricos, como, por exemplo, os modelos físicos. Entretanto, a complexidade geométrica de tais elementos impede que estes sejam materializados manualmente para fins de visualização e análise de comportamentos. Para solucionar estes problemas, nas últimas duas décadas os protótipos rápidos (PRs) permitiram traduzir modelos geométricos 3D em modelos reais.

A PR é uma expressão que define uma série de tecnologias de construção de peças, fatia-a-fatia. A PR é também conhecida como “*additive manufacturing*”, “*solid free form fabrication*”, “*3D printing*” ou “*layer by layer fabrication*”. Uma característica distinta do processo de construção aditiva, isto é, camada sobre camada, é

que podem ser construídas peças de alta complexidade. O objetivo deste artigo é relatar uma pesquisa sobre a produção de protótipos rápidos (PR) de elementos construtivos, modelados parametricamente, a partir do uso da tecnologia de sinterização seletiva a laser (SLS).

Etapas até para a produção dos protótipos rápidos

O processo realizado nesta pesquisa envolveu quatro etapas principais: 1. Modelagem paramétrica; 2. Modelagem geométrica; 3. Preparação do modelo geométrico; 4. Execução do PR. Na primeira etapa, destinada a criação dos algoritmos com o *plugin* Grasshopper, a atenção esteve voltada para a definição geométrica de todos os elementos construtivos. Na segunda etapa, destinada à modelagem geométrica, os elementos construtivos gerados pelos algoritmos no Rhinoceros foram fundidos em um único modelo sólido. Já na terceira etapa, isto é, aquela de preparação do modelo geométrico, as dimensões mínimas dos sólidos fundidos foram verificadas, e o modelo foi transformado em *meshes*, no arquivo com a extensão “*stl*” (esterolitografia). Na última etapa o modelo foi enviado para a máquina com a tecnologia SLS para a

produção do PR.

Durante a criação dos algoritmos, a atenção esteve voltada para a definição de todos os elementos necessários para gerar o modelo geométrico. O algoritmo criado possibilita gerar separadamente seus elementos, de modo a permitir a produção dos mesmos em diferentes camadas (*layers*) pelo comando *Bake*. Esta separação em camadas facilita a visualização e o controle sobre os elementos no programa Rhinoceros. Além disso, é possível verificar se há imperfeições em elementos, de modo isolado, uma vez que o algoritmo gerou muitos elementos tridimensionais no espaço, que dificilmente poderiam ser analisados juntos.

Outro cuidado importante na primeira etapa, foi permitir que os algoritmos fossem futuramente mesclados, com o propósito de gerar vários componentes de um edifício por meio de um super algoritmo. Assim, a divisão dos algoritmos em partes facilita a combinação entre algoritmos, que foram concebidos para complementarem-se entre si.

Notou-se que a visualização prévia dos elementos não é a mesma que a visualização dos elementos modelados no Rhino. Isto ocorre porque a aparência dos elementos no Rhino é mais precisa, e mostra mais facilmente se há ou não sobreposições indesejadas entre elementos modelados parametricamente. Este é mais um motivo para separar os elementos, pois se pôde monitorar melhor, passo a passo, aquilo que está sendo produzido pelo algoritmo.

Porém, outro motivo importante para gerar partes do mesmo algoritmo, além daqueles citados, é a memória necessária para realizar tal operação. Notou-se que elementos constituídos por muitas faces, tais como elementos cilíndricos ou esféricos, até mesmo

elementos moldados sobre superfícies curvilíneas, demoram a serem processados, matematicamente, e modelados no Rhino. O notebook utilizado não possui memória RAM suficiente para gerar todos os elementos ao mesmo tempo. Assim, a estratégia de dividir a geração em partes funcionou de modo muito satisfatório.

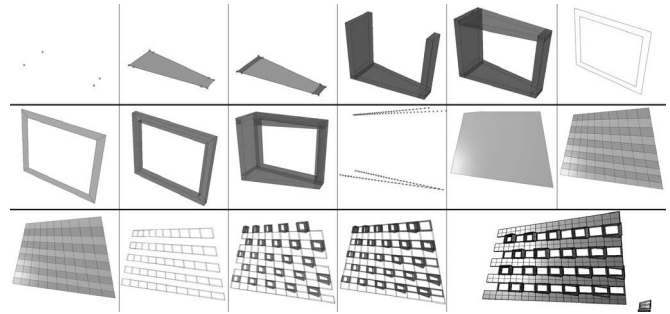


Fig. 2. Sequência da construção do algoritmo a partir de parâmetros estabelecidos no Grasshopper. Fonte: FLORIO, 2012.

Na segunda etapa, ou seja, na modelagem geométrica, os elementos gerados pelo algoritmo no Rhinoceros foram preparados para a fusão de todos elementos em um único sólido. Esta operação demandou muitos cuidados adicionais.

O primeiro cuidado foi gerar algoritmos com elementos sólidos. Ocorreram situações em que os perfis tubulares cilíndricos não estavam “fechados” em suas extremidades. Este problema foi solucionado a partir da ativação de opções próprias, já previstas no comando no *plug-in* Grasshopper. Do mesmo modo, as superfícies isoladas tiveram que ser fechadas pelo recurso “*Cap*” dentro do Grasshopper. Por este motivo, vários elementos extrudados tiveram que ser cuidadosamente verificados na primeira etapa, antes das operações finais da modelagem geométrica.

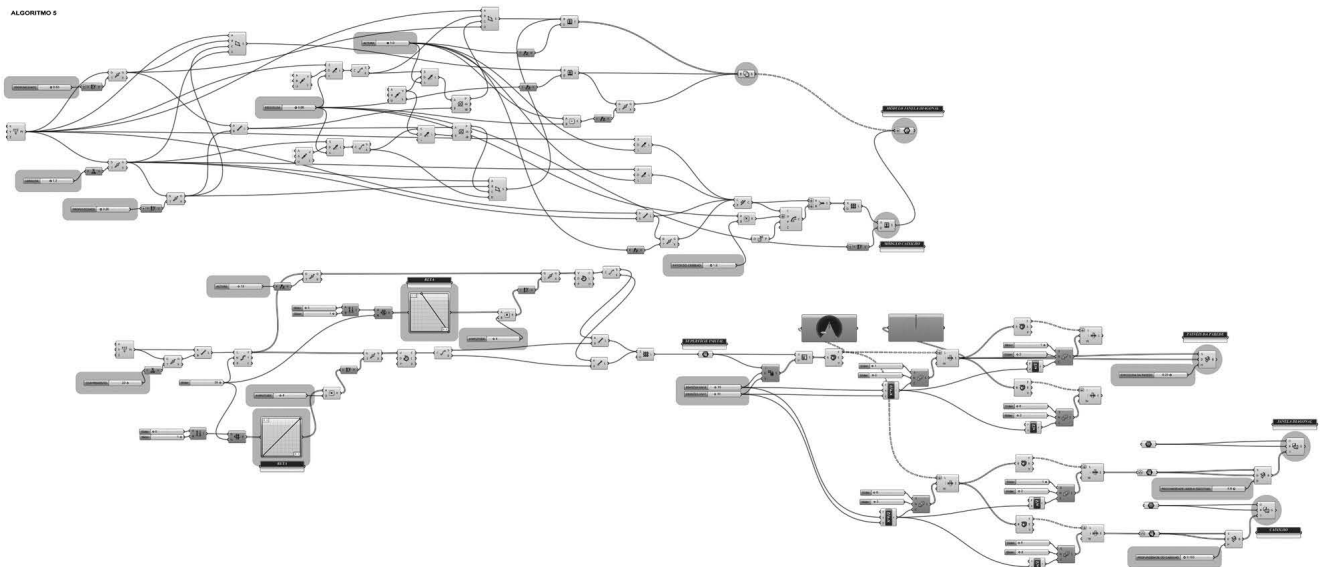


Fig. 1. Algoritmo de uma parede com janelas intercaladas. Fonte: FLORIO, 2012.

O segundo cuidado foi gerar sólidos parciais, entre elementos. Devido ao fato do programa Rhinoceros ser especializado na geração de superfícies, ele apresenta limitações em relação à modelagem sólida, exigida para gerar arquivos “.stl” para serem enviados para as máquinas de prototipagem rápida. Em algumas ocasiões este programa simplesmente não realizou as operações booleanas entre os elementos gerados. Uma das soluções encontradas foi aumentar a tolerância para a união entre elementos. Outra constatação foi que, devido ao grande número de elementos gerados parametricamente, alguns apresentaram “defeitos” de modelagem no Rhino. Após algum tempo, identificamos os elementos deformados, que foram substituídos por outros modelados artesanalmente no Rhino. Esta atitude permitiu superar estes obstáculos.

O terceiro cuidado tomado na segunda etapa foi entender melhor porque determinadas operações booleanas de união falhavam. Concluímos que elementos que se sobrepõem, face a face, apresentam dificuldades de serem unidos. Assim, procurou-se alterar determinadas faces para que elas não ocupassem a mesma posição no espaço.

Já na terceira etapa, isto é, aquela de preparação do modelo final, contribuiu para entender melhor as diferenças entre os tipos de arquivos de modelagem geométrica. A primeira constatação é que superfícies NURB, quando são transformadas em *meshes*, perdem sua melhor qualidade: a continuidade perfeita, que é característica da geometria topológica. A produção de malhas (*meshes*), constituídos por polígonos e curvas multifacetadas, transforma superfícies contínuas em superfícies poli-facetadas triangulares.

Esta limitação pode ser superada se o arquivo gerado contiver muitas faces. O problema é que arquivos com muitas faces são enormes, e dificultam a operação da máquina de prototipagem rápida, tornando o processo muito lento. Este fato acarreta problemas de execução, pois a máquina de prototipagem terá que fazer um trabalho muito delicado para operar com números elevados de polígonos e faces.

Para superar esta limitação, foram gerados diferentes *meshes*, com resoluções que variavam entre média e grande. *Malhas* com baixo número de faces são apropriados apenas para casos em que se deseja faces facetadas, planas, e com pouca curvatura. Concluímos que arquivos médios apresentam bons resultados, que são suficientes para a visualização plena do protótipo, sem exigir horas adicionais da máquina. Assim, a qualidade dos protótipos não foi prejudicada, pois o propósito deles era apenas de representação.

Entretanto, cinco dos modelos no formato “.stl” não foram gerados pelo pesquisador. Preferiu-se enviar o arquivo “.3dm” para o Centro Tecnológico para lá gerar o

arquivo, pois ele possui máquinas de grande capacidade de processamento.

A etapa de produção dos PRs foi realizada no Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer, localizado na cidade de Campinas, no Estado de São Paulo. Por ser um centro de pesquisas, solicitamos apoio para a produção dos protótipos, uma vez que este CTI é o maior e melhor da América Latina. As dimensões máximas do recipiente são 254 mm de diâmetro por 330 mm de altura. Devido a esta limitação, e também para que fosse possível produzir todos os seis modelos na mesma escala e de uma única vez, a escala escolhida para os protótipos foi 1:125. Escalas maiores exigem que os protótipos sejam executados por partes, que neste caso não seria justificável.

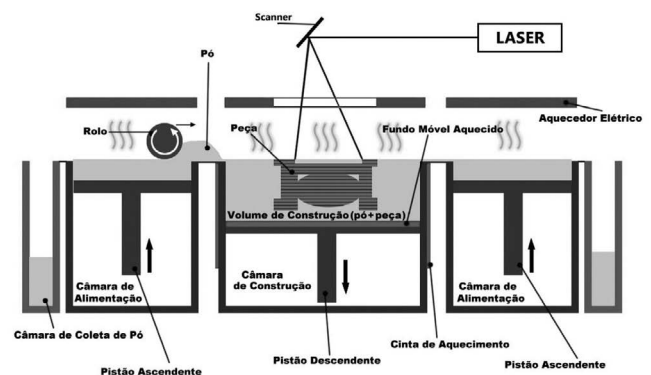


Fig. 3. Esquema de funcionamento da tecnologia SLS. Fonte: OLIVEIRA, 2008.

A sequência de etapas na formação das camadas do PR (Figura 3) é a seguinte: O fundo móvel de uma câmara de alimentação se eleva ao ponto de expor uma determinada quantidade de pó em posição um pouco acima do nível da plataforma. Concomitantemente, o fundo da câmara de construção abaixa formando um recesso com altura igual à espessura da camada a ser formada. Nesta situação, o rolo coleta o pó exposto e o arrasta ao longo de toda a plataforma preenchendo o recesso da câmara de construção e levando o excesso de pó para a câmara coletora. Após o tempo decorrido para sinterização da camada de pó, o fundo da segunda câmara de deposição se eleva, expondo o pó acima do nível da plataforma. Concomitantemente, o movimento de descida do fundo da câmara de construção se repete, abrindo espaço para preenchimento como uma nova camada de pó que, ao ser seletivamente sinterizada, produz a fatia seguinte da peça. Os movimentos síncronos do rolo, fundos das câmaras e do feixe do laser se repetem até que a peça seja finalizada. Terminada a peça, o volume de construção (conjunto pó/peça) é coletado para dentro de recipiente (Figura 4c) que, por sua vez, é levado para uma estação de limpeza onde o pó é removido liberando as peças nele imersas.

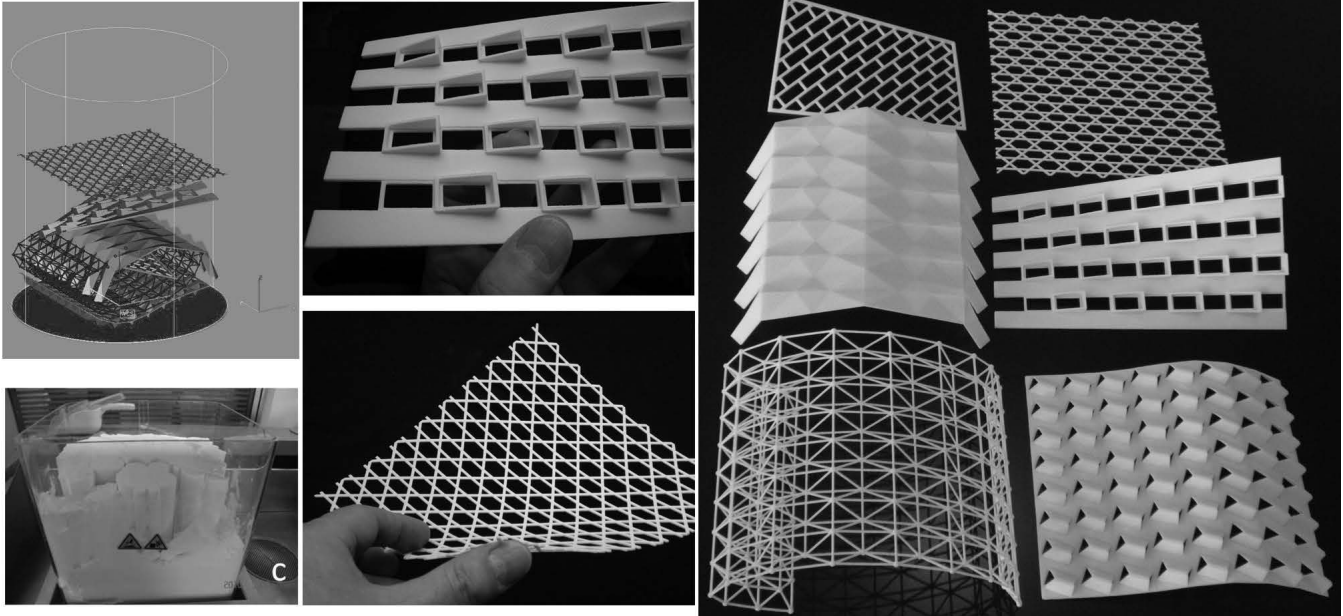


Fig. 4. Protótipos Rápidos. Fonte: FLORIO, 2012.

Discussão

Foram produzidos e avaliados seis PRs na escala 1:125. Embora reduzidos, estes modelos físicos permitem representar, de modo satisfatório, as principais características dos elementos construtivos modelados geometricamente no computador.

A tecnologia SLS foi escolhida por ser a mais apropriada para a execução de peças delgadas e flexíveis. O material empregado na produção dos modelos, o pó de poliamida, é maleável, fato que permitiu a manipulação e realização de pequenas torções, fisicamente, nos PRs. Embora os modelos físicos tenham sido executados com a função comunicativa de verificação e de representação, puderam ser também analisados fisicamente, de modo a verificar o comportamento estrutural do conjunto das peças, como a torção e os esforços de forças laterais.

Os PRs produzidos, com diferentes geometrias, permitiram explorar o potencial do equipamento utilizado para a sua fabricação. A adição de finas camadas que caracteriza o processo aditivo pode ser visualizado nas fotos obtidas a partir dos protótipos (Figura 4). As camadas finas sobrepostas umas às outras possuem uma espessura mínima de 80 micras, isto é, 0,08 mm. Neste processo, as sucessivas camadas permitiram moldar modelos físicos muito delicados, com elementos delgados e de geometria complexa.

A geometria dos modelos que finalizava em arestas pontiagudas, assim como as superfícies inclinadas apresentaram leves imperfeições devido à limitação da espessura da camada. Os perfis tubulares foram levemente facetados, mas sem prejuízo ao propósito previsto para o modelo.

Considerações Finais

As superfícies regradas e os elementos construtivos no espaço puderam ser melhor avaliadas diante de PRs. As superfícies constituídas por paraboloides hiperbólicos, que oscilam de um lado para outro, são muito mais tangíveis à compreensão em modelos físicos.

Se por um lado a MP facilita a produção de famílias de elementos construtivos similares, mas diferentes entre si, a PR incentiva a produção de sequências de modelos físicos, que podem ser avaliados e comparados durante o processo de projeto.

Diante das outras tecnologias de PR disponíveis (FDM e 3D Printer), empregadas pelo pesquisador até o presente momento em pesquisas anteriores (FLORIO; ARAUJO; SEGALL, 2008), a tecnologia SLS é extremamente eficiente para a produção de PRs com superfícies curvilíneas no âmbito da arquitetura.

Agradecimentos

O autor agradece o apoio do CNPq e do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer.

Referências

FLORIO, W.; ARAÚJO, N.; SEGALL, M. L. 2008. Protótipos rápidos de coberturas complexas em arquitetura: comparação entre os processos FDM e 3D printer. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, 14, SIGRADI 2008, Bogotá. *Anais...* Havana, Cuba: CUJAE, p. 1-8.

OLIVEIRA, M. F. 2008. *Aplicações de Prototipagem Rápida em Projetos de Pesquisa*. Campinas. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. 130 p.