

Avaliação Comparativa de Aplicativos de Análise Estrutural Vinculados ao Ambiente de Modelagem Paramétrica: estudo de caso utilizando o plug-in Scan-and-Solve para Rhinoceros

Comparative between software for structural analysis linked to parametric modeling environment: case study with the plug-in Scan-and-Solve for Rhinoceros

Guilherme S. Carvalho

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
giantinigui@gmail.com

André L. Araújo

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
a.araujo@fec.unicamp.br

Wilson Barbosa

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
wbarbosa@fec.unicamp

Pedro Y. Noritomi

CTI Renato Archer – BRASIL
pedro.noritomi@cti.gov.br

Marcelo F. Oliveira

CTI Renato Archer – BRASIL
marcelo.oliveira@cti.gov.br

Gabriela Celani

Universidade Estadual de Campinas – BRASIL
celani@fec.unicamp

ABSTRACT

This paper evaluates the use of Scan-and-Solve plug-in for structural analysis in Rhinoceros's environment. A reception desk parametrically modeled was evaluated with Scan-and-Solve and with Ansys. From the results, we concluded that the main difference between the programs is that Ansys allows more detailed definition of the connections between parts of the object. Besides the virtual models, the results were showed with a physical model printed with the rapid prototypes techniques. The paper describes the integration of parametric modeling, structural analysis and rapid prototyping procedures in the design process.

KEYWORDS: Finite elements, Structural analysis, Scan-and-Solve; Ansys; Rapid prototyping.

1. Introdução

Nas últimas décadas têm sido observadas transições impactantes da tecnologia na sociedade. Uma parcela delas tem se concentrado na migração da informação armazenada em formas materiais para as formas digitais de armazenamento. De acordo com Nardelli (2007), essas mudanças vêm representando um salto paradigmático na produção, no conceito e no ensino de arquitetura. Tal avanço foi concebido em função dos processos computacionais, como a fabricação digital que, para Marco (2011), deram aos arquitetos a chance de desenvolver projetos auxiliados por uma base digital, revelando um novo mundo de possibilidades no uso de materiais em diversos outros processos que culminaram no que se entende hoje por Arquitetura Digital e por Projeto Integrado.

A integração nos processos de projeto em arquitetura também é resultado de uma aspiração humana pela emergência de formas complexas, muitas vezes expressas por estruturas não convencionais. Em conjunto com esse processo, houve a necessidade de incorporação de conhecimentos oriundos de outras áreas ao projeto de arquitetura, já que o número

de variáveis de projeto aumenta conforme a sua complexidade. Além disso, ocorrendo a aproximação de conhecimentos nas etapas iniciais de projeto, existirá uma maior probabilidade de redução do tempo despendido em etapas subsequentes do processo de projeto e da construção.

Passaro (2009) afirma que parte fundamental do conceito de complexidade da forma, segundo o conceito de Novo Estruturalismo, é a preocupação com a materialidade aliada à otimização do sistema estrutural para a determinação da forma arquitetônica. Com o mesmo viés, Kolarevic (2009) afirma que igualmente fundamentais para o processo do projeto integrado são a análise e a simulação de condições reais de exposição do objeto arquitetônico, assim como a pesquisa por novos materiais e as avaliações sobre o comportamento e o desempenho sob diversos critérios, dos elementos arquitetônicos. Esse conjunto de procedimentos influenciará diretamente os aspectos de viabilidade de construção de qualquer arquitetura de geometria complexa.

O presente artigo é resultado de uma pesquisa de iniciação científica na qual se buscou verificar a

validade da aplicação do plug-in Scan-and-Solve para a análise estrutural de um objeto de mobiliário modelado parametricamente no aplicativo Rhinoceros.

2. Material e Métodos:

2.1 Estudo exploratório do aplicativo

Na etapa inicial, os procedimentos consistiram de um estudo exploratório a fim de compreender o funcionamento do plugin Scan-and-Solve. De maneira similar ao plugin Grasshopper, o Scan-and-Solve foi desenvolvido recentemente para o aplicativo CAD Rhinoceros 3D pela empresa Intact Solutions. O objetivo desta etapa foi compreender o funcionamento e as peculiaridades do Scan-and-Solve para um maior domínio do aplicativo a ser utilizado na etapa subsequente.

Algumas características do Scan-and-Solve:

- Desenvolvedor: Intact Solutions, uma empresa privada com escritórios em Madison, Wisconsin e Berkeley, Califórnia. Primeiramente incubada na Universidade de Wisconsin, se especializou no desenvolvimento de aplicativos com vistas a soluções de problemas de engenharia. A tecnologia utilizada no Scan-and-Solve se baseia em recentes técnicas patenteadas pela empresa em modelagem geométrica, métodos numéricos e linguagens digitais, com vistas a pouca exigência de conhecimentos prévios em sistemas estruturais ou soluções por malha de elementos finitos.
- O Scan-and-Solve gera um modelo de elementos finitos simplificado. Essa técnica tem sido aplicada em alguns casos relacionados a transferência de calor, elasticidade, vibração, hidrodinâmica, torção, design geométrico, modelagem de materiais, etc. As possibilidades incluem a flexibilidade na manipulação de erros geométricos, facilidade em realizar pequenas alterações, condições de contorno complexas e interface simples mantendo, ao mesmo tempo, algumas propriedades das análises estruturais tradicionais.

Definiu-se um objeto para a realização de duas análises estruturais. Esse elemento consistiu de uma peça de mobiliário cujo processo de design foi realizado de modo paramétrico com a utilização do plug-in Grasshopper dentro do ambiente de modelagem do aplicativo Rhinoceros. Esse elemento é resultado de um trabalho do mesmo de grupo pesquisas apresentado por Barbosa Neto et al. (2012).

Com o intuito de aferir sobre aspectos da validade do Scan-and-Solve, foi efetuada uma análise estrutural do balcão de escritório utilizando-se este plug-in. Como controle, efetuaram-se procedimentos similares de análise estrutural por meio do aplicativo de elementos

finitos Ansys, com o apoio da Divisão de Tecnologias 3D do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer.

Com a utilização da prototipagem rápida, realizou-se a impressão 3D do modelo a partir do arquivo digital produzido pelo Scan-and-Solve/Rhinoceros, a fim de verificar a possibilidade de utilização, de maneira conjunta, do Scan-and-Solve com outras técnicas utilizadas no processo de design, nesse caso a visualização por meio de protótipo.

3. Resultados e Discussão

A partir da exploração inicial de propriedades do Scan-and-Solve observaram-se algumas das seguintes limitações:

- permite somente a seleção de modelos sólidos, isto é, entidades como superfícies ou linhas não são selecionáveis e, portanto, não podem ser avaliadas;
- permite somente a seleção de um único objeto, isto é, não é possível realizar a avaliação do modelo físico multi corpos.

Após a seleção do objeto, respeitando-se as limitações supradescritas, é possível ativar a interface do Scan-and-Solve de dois modos: digitando "SnS" na barra de *prompt* do Rhinoceros ou clicando no ícone que contém as duas iniciais do *plug-in*. Aparecerá na tela uma janela que consta de três abas: especificações, visualização e informações sobre o *plug-in* (Fig. 1). É necessário preencher todos os campos solicitados.

O Scan-and-Solve funciona em uma pequena janela junto à área de trabalho do Rhinoceros (Fig. 1).

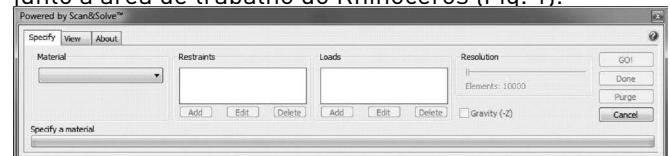


Fig. 1. Interface principal do Scan-and-Solve

Nas abas também é possível fazer anotações sobre o modelo. Além disso, podem-se destacar e marcar os pontos de máxima e mínima flexão, ou escolher um ponto e determinar seu deslocamento. A versão 1.3 do *plug-in* permite visualizações em corte do objeto, podendo selecionar o sentido e a posição do plano de corte.

No primeiro experimento realizado com o Scan-and-Solve definiu-se um pórtico plano formado por uma viga e dois pilares hipotéticos de dimensões 2,0 x 2,0 x 10,0 metros. Adotou-se o material como sendo concreto de resistência moderada (concrete, medium strength), apenas a atuação da carga de peso próprio e resolução e uma malha de 10.000 elementos finitos. Os resultados foram similares aos de um aplicativo estrutural convencional.

Como estratégia de parametrização do design do balcão de escritório dividiu-se o elemento em três partes a fim de se obter diferentes arranjos para o mesmo. Todas as prateleiras e divisórias foram previstas em chapas de aço (Steel AISI 1020). A espessura adotada para cada chapa foi de 2 mm e o encaixe do tipo egg-crate. Para o travamento das peças as chapas foram soldadas na região dos encaixes. Na Fig. 2 mostra-se o elemento modelado no Rhinoceros e parametrizado no plug-in Grasshopper.

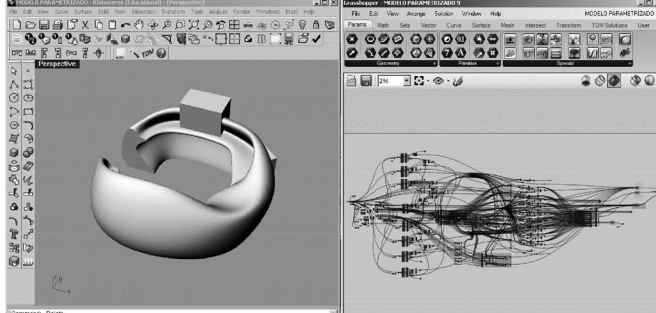


Fig. 2. Modelagem paramétrica: Grasshopper/Rhinoceros

Alguns detalhes presentes no projeto do balcão não foram considerados na análise estrutural, dentre eles, a existência de rodízios móveis para uma movimentação facilitada das três peças.

A primeira, e possivelmente a mais contundente, diferença entre os dois aplicativos é a limitação do Scan-and-Solve em simular os encaixes propostos. Até o momento, como já citado, as versões lançadas do *plug-in* não admitem qualquer forma de discretização das ligações flexíveis, tendo em vista que só são possíveis modelos sólidos. O resultado da análise estrutural fundamentada dessa maneira reduz consideravelmente a possibilidade de utilização do Scan-and-Solve nos casos onde se necessita de um rigor mais acentuado.

Ainda assim, como um cômputo satisfatório o Scan-and-Solve permite compreender efeitos estruturais que muitas vezes passam despercebidos no processo de design. Um exemplo de uma aplicação desse sentido seria a rápida verificação de regiões na peça que podem apresentar instabilidade. Com o auxílio de uma barra de rolagem pode-se perceber a instabilidade por flexão a partir da simulação de diferentes carregamentos, o que pode informar ao projetista a necessidade de dispositivos de reforço nas peças. Na Fig 3 apresentam-se dois resultados gráficos de análises obtidas no

balcão de escritório feitas a partir do Scan-and-Solve. Com a escala cromática da cor do azul (menor) para o vermelho (maior) representa-se o nível de concentração de tensões de Von Mises. À direita, mostra-se uma condição de instabilidade por flexão na peça em virtude da relação comprimento do balanço e espessura da chapa.

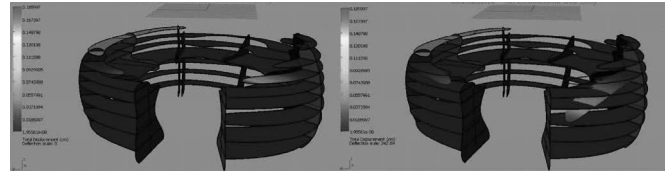


Fig. 3. Resultados do Scan-and-Solve

Diferentemente do Scan-and-Solve, o aplicativo Ansys é capaz de considerar praticamente quaisquer formas de ligação entre os componentes de um modelo, justamente por essa diferença simples entre os dois aplicativos: o Ansys interpreta separadamente cada superfície que compõe o sólido. Desse modo, a variação de espessuras superficiais, as restrições nas ligações, os esforços externos e as formas de travamento são contabilizadas em sua análise estrutural. Considerando-se a ligação egg-crate entre as chapas apresenta-se na Fig 4 dois resultados gráficos de análises obtidas no balcão de escritório feitas a partir do Ansys. Com a escala cromática da cor do azul (menor) para o vermelho (maior) representa-se o nível de concentração de Von Mises. Mesmo em se tratando de uma descrição mais aproximada da realidade dos esforços, pode-se perceber a mesma condição de instabilidade por flexão na peça em virtude da relação comprimento do balanço e espessura da chapa.

A diferença se fundamenta justamente no comprimento da flecha em virtude da instabilidade na peça. Com o Scan-and-Solve compreende-se uma instabilidade local reduzida em comparação com a estabilidade global da peça. Já com o Ansys, pode-se verificar a necessidade de rigidez nas ligações entre as chapas em virtude da instabilidade. Ou seja, caso fossem projetadas ligações com um maior grau de liberdade em um dado sentido, provavelmente haveria o agravamento da condição de estabilidade da peça. Considerando a mesma forma de travamento do balcão nos dois aplicativos, observa-se uma redução nas diferenças entre os comprimentos de flecha: no Scan-and-Solve, 8,62 cm e no Ansys,



Fig. 4. Resultados do Ansys

9,10 cm. A reduzida diferença nesse caso (0,48 cm) ocorreu em função da diferença de precisão de análise entre os aplicativos, tendo em vista que os modos de entrada de dados de material no Ansys, como módulo de elasticidade, densidade, tipo de aço, etc., são mais precisos. Também pode haver diferenças nos cálculos internos entre os dois programas.

Em conjunto com CTI Renato Archer, efetuou-se a impressão 3D do modelo gerado pelo Scan-and-Solve/Rhinoceros utilizando a impressora colorida da marca Zcorporation (Zcorp) modelo 3D Spectrum Z510, a fim de verificar a reprodução dos resultados em escala cromática obtidos em um protótipo físico.

O sistema de impressão 3D Zcorp utiliza de uma tecnologia denominada 3DP, desenvolvida no Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT). O 3DP é um processo de prototipagem que funciona a partir da geração de um modelo de estereolitografia para um aplicativo próprio da família Zcorp que fatia o objeto digitalmente, tanto por seções transversais quanto horizontais. Desse modo, a cada fatia, cria-se uma imagem 2D. É possível enviar as seções transversais para a impressora 3D do mesmo jeito que um arquivo de texto é enviado a uma impressora comum. Com a mesma tecnologia de impressão a jato de tinta de uma impressora comum, criam-se modelos camada por camada, depositando um aglutinante líquido em finas camadas de pó. Depois que as camadas são impressas, o excesso de pó é arrastado para reutilização no próximo modelo.

A velocidade do processo todo depende do grau de complexidade do modelo a ser impresso. No caso do modelo do balcão (Fig. 5), devido à forma não usual, o processo todo levou o tempo de aproximadamente 18 horas. Mesmo assim, em comparação com outras impressoras 3D, a velocidade da Zcorp 3DP é superior.

Após a definição de todas as características da escala cromática do modelo, alguns procedimentos foram observados para gerar o arquivo de impressão. A função de saída do modelo do Scan-and-Solve é o mesmo comando "bake" do Rhinoceros. Transferiu-se o arquivo de extensão *.3dm (Rhinoceros) para outros dois formatos essenciais à impressão colorida: 1) *.png (*portable network graphics*), formato de arquivo de imagem referente a "pele colorida" do modelo; 2) *.wrl (*virtual reality model language*), formato de arquivo que contém as características geométricas do modelo. Os dois arquivos foram abertos simultaneamente no software Zcorp e efetuou-se a impressão do modelo.

4. Conclusões

Pode-se dizer que o *plug-in* Scan-and-Solve representa uma boa alternativa de simulação dos efeitos observados na realidade das estruturas quando se

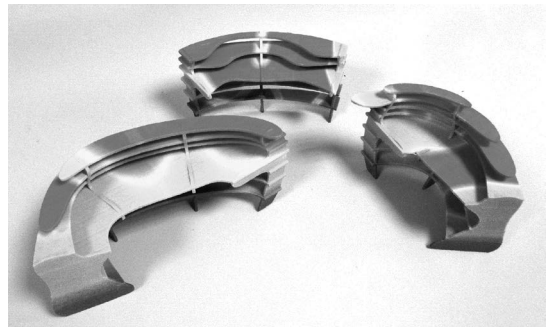


Fig. 5. Modelo impresso

tratam de encaixes de grande rigidez, como é o caso das estruturas mais monolíticas e de pequena altura. Nas estruturas em que são necessárias análises estruturais mais criteriosas, e existe uma quantidade de ligações flexíveis, entende-se que os dados obtidos a partir do *plug-in* podem se juntar a outros dados obtidos em outros softwares de análise estrutural.

No entanto, em qualquer dos casos, nas primeiras formas obtidas no processo de design, o Scan-and-Solve pode induzir a decisões mais acertadas em relação aos aspectos de estabilidade estrutural. Além disso, sua fácil vinculação a um aplicativo de design gráfico já consolidado contribui com a sua utilização pelo projetista já que, em grande parte das vezes, a utilização de um aplicativo de análise estrutural requer conhecimentos avançados sobre dimensionamento estrutural e resistência dos materiais.

Agradecimentos

Aos pesquisadores Marcelo Oliveira e Pedro Noritomi do CTI, pelo apoio à pesquisa, ao CNPq, pela bolsa de Guilherme Carvalho, e à CAPES, pela bolsa de Wilson Barbosa.

Referências

- Barbosa, W.; Araujo, A.; Carvalho, G. Celani, G. 2012. Samba reception desk: compromising aesthetics, fabrication and structural performance in the design process. In: The 30th International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe. *Proceedings...* Prague, Czech Republic.
- Nardelli, E. S. 2007. *Arquitetura e Projeto na Era Digital*. *Arquiteturarevista*, 3 (1), 25-38.
- Marcos, C. L. *New Materiality: ideation, representation and digital fabrication*. 2011. In: The 29th International Conference on Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe. *Proceedings...* Ljubljana, Slovenia. p.35-360.
- Passaro, A. 2009. *Linguística e Estruturalismo dos anos 70. Leituras em Teoria da Arquitetura*. 01 (Coleção PROARQ/Beatriz Santos de Oliveira).
- Kolarevic, B. 2009. Towards Integrative Design. *International Journal of Architectural Computing*, 03 (7), 335-344.