

O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura

The future of constructive process? The 3d concrete printing and its impact on architectural conception and production

Eduardo Quintella Florêncio

UFAL, Brasil

eduardoqf@hotmail.com

Dilson Batista FerreiraSegundo

UFAL, Brasil

dilson.ferreira@fau.ufal.br

Ivvy Pedrosa Cavalcante Pessoa Quintella

UFAL, Brasil

ivvyp@yahoo.com

Abstract

This article aims to discuss the 3D concrete printing technology for use in construction, which promises to generate economic gains and benefits for the environment. It also search for a potential impact of this technology over the current architecture design and construction methods, assessing its viability opposite the context of the research and practical construction in Brazil. From the partial results of the analysis, listed out to potential and difficulties related to the implementation of this technology.

Keywords: 3d concrete printing; automated construction; digital fabrication

Introdução

O processo de automatização na indústria de objetos manufaturados obedeceu a um ritmo exponencial no último século. A indústria da construção civil, no entanto, permaneceu atrelada a um processo em grande parte artesanal, ainda que fossem integrados elementos de pré-fabricação em sua composição e técnicas de racionalização de processos gerenciais. Na última década, porém, o surgimento de novas tecnologias promete gerar uma verdadeira revolução na maneira de conceber e construir arquitetura, trazendo para o canteiro de obras o mesmo princípio utilizado na produção pós-industrial, o file to factory. Tal princípio passou a interligar diretamente o projeto digital e seu processo de fabricação. Desta forma, o distanciamento entre as lógicas de fabricação de objetos industrializados e de edificações parece tender a ser superado.

Dentre os novos caminhos experimentados para o desenvolvimento da construção civil na era digital, destaca-se a introdução da fabricação CNC de edifícios inteiros, possibilitada pelo advento de tecnologias como a impressão 3D em concreto. Tal lógica diferencia-se drasticamente dos processos construtivos utilizados até hoje. Além da produção informatizada de seus componentes construtivos, trata-se também da possibilidade de fabricação digital da edificação em sua totalidade, diretamente sobre o terreno. Ou seja, pode-se afirmar que se tornou possível “imprimir” uma edificação (building printing). Dentre as pesquisas e aplicações atualmente em andamento, o desenvolvimento da impressão 3D em concreto vem gerando resultados extremamente promissores, não apenas no canteiro de obras, mas em diversos aspectos do processo conceitual e construtivo das edificações.

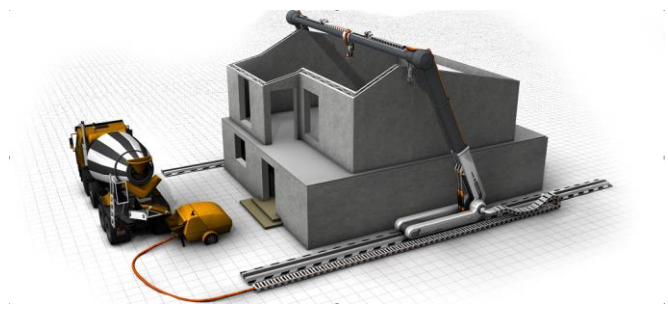


Figura 1: Impressora 3d de grande formato permite construção CNC de uma edificação inteira.

Fonte: <http://www.craft-usc.com/wp-content/uploads/2014/07/New-Model-CC.png>

Problemática

A impressão 3D em concreto para uso na construção civil é um dos desdobramentos do advento da tecnologia de impressão 3D, surgida 1983 a partir da estereolitografia, desenvolvida por Chuck Hull, co-fundador da empresa 3D Systems. A impressão 3D, também conhecida como fabricação aditiva, funciona a partir da sobreposição de diversas camadas de um determinado material até formar o objeto previamente projetado no computador. As possibilidades da impressão 3D eram, até recentemente, limitadas em termos de escala e de tipos de material de fabricação. Esta particularidade fez com que ela fosse direcionada inicialmente para o uso em prototipagem rápida, especialmente no desenho industrial. A evolução desta tecnologia foi permitindo a adoção de materiais de diferentes propriedades, possibilitando variar características como resistência, cor, transparência, etc. Assim, a impressão 3D

passou a se integrar também à fabricação do produto final ao consumidor.

Permaneceu, porém, certa limitação relacionada à dimensão dos objetos produzidos digitalmente, sobretudo para direcionar seu uso para a escala do edifício. Fabricar objetos de dimensões maiores só era possível a partir da montagem de partes impressas individualmente. Todavia, com o surgimento das primeiras impressoras 3d de grande porte, a limitação no quesito escala parece vir a ser superada, ampliando suas possibilidades para o uso na construção civil.



Figura 2: Impressora 3d de grande formato, utilizando concreto para construir em tamanho real.

Fonte: <http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2015/01/Winsun-3dprint-mansion4.jpg>

A impressão 3D em concreto surgiu do estudo das possibilidades de ampliação da escala das impressoras 3D convencionais. Este sistema consiste no bombeamento de concreto armazenado em um reservatório através de um bico de extrusão acoplado a eixos com movimentação xyz controlado por computador. O procedimento para imprimir utilizando concreto é semelhante ao utilizado pelas impressoras que utilizam polímeros. Em ambos os casos, o modelo 3d é feito em um software de modelagem tridimensional e posteriormente transformado em camadas por outro software chamado “slicer”, que determinará a espessura e quantidade das camadas para todo o modelo. A informação do modelo fatiado é enviada então para o hardware da impressora 3d que irá interpretar o “G-code” gerado pelo slicer e proceder na construção das camadas sobre a superfície escolhida. Uma das vantagens referentes ao uso do concreto como material está na espessura das camadas que permite fabricar modelos grandes em pouco tempo.

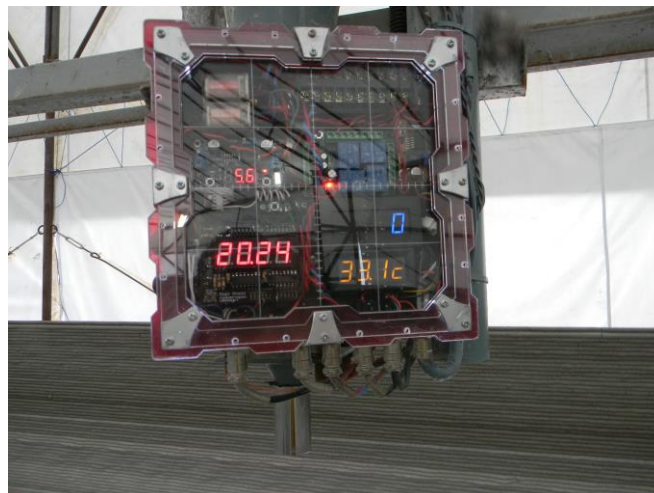


Figura 3: Bico extrusor de concreto controlado por computador.

Fonte: <https://www.tcmaker.org/blog/wp-content/uploads/2015/09/AndreyEND.jpg>

Diversas pesquisas e aplicações acerca do building printing em concreto vêm sendo desenvolvidas em todo o mundo. Um dos pioneiros e principais desenvolvedores de estudos sobre essa tecnologia é o projeto “Contour Crafting”, liderado pelo professor Behrokh Khoshnevis e baseado na Universidade do Sul da Califórnia, nos Estados Unidos. Khoshnevis explica a possível revolução da aplicação desse sistema no processo construtivo: “Aumentando a escala das impressoras 3D convencionais, esperamos construir bairros inteiros de moradias dignas, utilizando uma fração do custo e do tempo em um ambiente muito mais seguro e oferecendo uma flexibilidade formal sem precedentes” (KHOSHNEVIS, 2012). Seus experimentos demonstraram a capacidade de imprimir uma casa inteira em vinte horas, e vêm sendo desenvolvidos projetos até mesmo para uso em solo lunar, em parceria com a NASA.

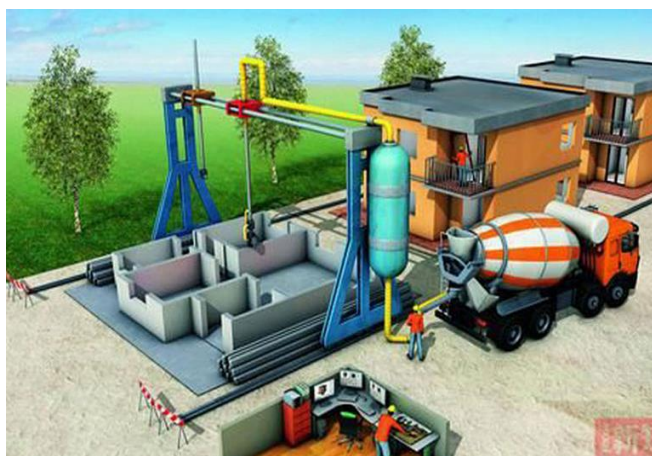


Figura 4: Ilustração da impressora 3d da contour crafting.

Fonte: <http://contourcrafting.org>

No campo da iniciativa privada, a construtora chinesa Win Sun, baseada em Xangai, patenteou um sistema de construção ("WinSun 3D printed building system") muito semelhante ao concebido pelo projeto Contour Crafting, porém com o espaço interno das paredes estruturado em forma de treliça, para obter maior resistência e possibilitar liberdade para a introdução de tubulações. Operando dentro de uma fábrica, a winSun utiliza a impressão 3d em concreto para fabricar peças grandes, tirando proveito do ambiente controlado de uma fábrica e da liberdade de personalização que a impressão 3d permite. Em 2015, a construtora alcançou a façanha de montar dez casas em menos de 24 horas, valendo-se de uma impressora de 32 metros de largura por 6,5 metros de altura e 150 metros de comprimento. Também conseguiu imprimir um prédio inteiro, com seis pavimentos, e possui atualmente dezenas de ambiciosos projetos em andamento.



Figura 5: Casa da empresa chinesa Win Sun, sendo montada.

Fonte: http://si.wsj.net/public/resources/images/BN-CJ490_0415ch_H_20140415071204.jpg

Destaca-se também, o projeto "Free Form Construction", desenvolvido na Loughborough University, na Inglaterra, em parceria com o escritório do arquiteto Norman Foster. O trabalho desenvolvido utilizando manufatura aditiva permite a construção de painéis e componentes de pré-fabricação livre de moldes. As pesquisas atuais, buscam novos tipos de técnicas estruturais e o uso de robótica para montagem de peças arquitetônicas. Também eles vêm realizando experimentos para a construção espacial, em parceria com a Agência Espacial Europeia.



Figura 6: Parede orgânica desenvolvida pelo projeto Freeform, da Universidade de Loughborough.

Fonte: <http://www.freeformconstruction.com/>

O tradicional escritório de arquitetura WATG, baseado em Chicago, nos Estados Unidos, divulgou a criação de um processo de fabricação se diferencia do Contour Crafting ao tirar proveito de uma técnica híbrida chamada de "tecnologia de fabricação celular", que utiliza um braço robótico para imprimir uma estrutura de painéis em grid. Composta por painéis de fibra de carbono, esta estrutura permite a composição de uma ampla variedade de formas, impossíveis de serem criadas com a técnica "Contour Crafting". Após a criação total da forma, o concreto pode ser bombeado para conferir fechamento e rigidez estrutural. Segundo o vice presidente da WATG, Christopher Hurst, "o objetivo é utilizar um braço robótico multi-funcional, capaz de permitir a fabricação simultânea da estrutura e do fechamento. Por enquanto, o processo ainda é híbrido".



Figura 7: Detalhe do método construtivo utilizado pela equipe do WATG, feito com fibra de carbono por um braço robótico.

Fonte: <https://3ddevice.com.ua/wp-content/uploads/2016/05/3Dbranchtech2.jpg>

Resultados e Discussão

Por se tratar de uma abordagem relativamente nova no âmbito da fabricação digital, têm sido especulados os benefícios do uso desta tecnologia em nível mundial. A impressão 3D em concreto promete trazer benefícios econômicos, para o meio-ambiente, para a sociedade, para as regulamentações normativas e para o processo projetual e construtivo na arquitetura. Relacionam-se, a seguir, algumas das principais vantagens alegadas do uso da impressão 3D do concreto, em relação ao processo construtivo convencional:

- Redução de custos e de tempo da obra: A automatização do processo construtivo possibilita fazer mais em menos tempo. Considera-se que o uso desta tecnologia implica diretamente na redução de mão de obra braçal. Há também uma significativa redução do desperdício de material.

- Precisão da execução: A tecnologia CAD/CAM permite que o projeto desenhado no computador seja transmitido diretamente para as máquinas de produção (file to factory). Uma vez que implica na eliminação da necessidade de interpretação do projeto por intermediários para proceder à fabricação, evita a maioria dos problemas gerados por falha humana.

- Liberdade projetual: A impressão 3D em concreto oferece uma enorme gama de possibilidades projetuais. Com um maquinário flexível, permite construir em escala industrial diversos tipos de formas diferentes, possibilita uma flexibilidade formal sem precedentes. Na produção em série, a redução do custo depende da repetição em grandes quantidades para diluir o valor do aprimoramento do projeto, da fabricação de moldes e da calibragem de maquinário. O processo construtivo pós-industrial implica na possibilidade de automatização sem padronização, a chamada "customização em massa".

- Redução do impacto ambiental: O processo do building printing promete reduzir drasticamente o consumo de energia e a poluição ambiental no setor da construção civil. De acordo com Khoshnevis (2012), o processo construtivo tradicional é responsável por gerar uma quantidade considerável de sobras de material e um alto índice de emissões de gases. A construção valendo-se da impressão 3D em concreto, por outro lado, é comparativamente mais sustentável, além de possuir desempenho térmico favorável ao conforto ambiental: baixo consumo energético, baixa emissão de carbono, e drástica diminuição de resíduos e de poeira, dispensando também o uso de fôrmas. Faz uso de materiais reciclados ou tecnologicamente mais avançados, tais como o concreto capturador de CO₂ e o concreto reciclado, feito a partir de resíduos de construção. Ambiciona-se a possibilidade de construir futuramente com desperdício zero.

- Otimização do processo de gerenciamento de projetos e obras: um dos grandes problemas da construção civil é sua dificuldade em coordenar com eficiência todos os processos que envolvem sua realização. O uso desta tecnologia

possibilita, no âmbito da gestão de projetos, reduzir os riscos, atenuando os caminhos críticos. A tecnologia também oferece mais confiabilidade ao projeto, uma vez que diversos pacotes de trabalho que dependiam de pessoas, agora podem ser feitos por maquinário informatizado, aumentando a segurança do trabalho. Além disso, auxilia no controle de custo, devido a sua maior previsibilidade, evitando a extrapolação do orçamento previsto para a execução da obra.

- Logística: No caso das técnicas como Contour Crafting, a impressão 3D em concreto das edificações é realizada diretamente sobre o terreno, não dependendo completamente do transporte de peças.

- Possibilidade de redução do déficit habitacional: A oferta de mais moradias em menos tempo, obedecendo a um padrão qualidade e com menor custo, pode ser transformada em uma poderosa ferramenta de vantagem social no que diz respeito à redução do déficit habitacional. Também se destaca sua possibilidade de utilização em situações em que a mobilização de equipe de trabalho se torna crítica, como a construção em lugares remotos, ou no auxílio à reestruturação de áreas que sofreram catástrofes naturais. Em algumas pesquisas, o concreto utilizado possui fibras em sua composição, oferecendo resistência superior, tendo seu uso recomendável em regiões propensas a terremotos. No caso brasileiro, algumas das possibilidades de aplicação social seria o programa governamental de acesso à moradia "Minha casa, minha vida", bem como as reconstruções emergenciais para vítimas de enchentes e deslizamentos.

Diante de benefícios tão promissores, quais seriam as desvantagens e dificuldades de implantação da impressão 3D em concreto no contexto mundial? Um dos aspectos mais relevantes que entravam o desenvolvimento dessa tecnologia diz respeito ao próprio conservadorismo da indústria da construção civil, que se apegava ao método tradicionalmente artesanal e com riscos gerenciais conhecidos. Também se considera o alto custo de desenvolvimento inicial, que envolve a aquisição de maquinário, pagamento de patentes e treinamento de mão de obra especializada na operação e manutenção dos novos equipamentos. Há que se considerar também a resistência social em revolucionar um dos setores que mais empregam mão-de-obra:

De acordo com o professor Khoshnevis (2012): "Com relação ao impacto nos postos de trabalho, existe uma preocupação quanto ao aumento do desemprego no setor da construção civil. Vale lembrar que a indústria automobilística e a agricultura já passaram por esta transição, e que ela acontece gradualmente, retirando pessoas da zona de risco enquanto promove novos postos de trabalho mais especializados e seguros, promovendo melhores resultados econômicos e avanços qualitativos do produto final."

Apesar da velocidade dos processos globalizados, quais seriam os entraves para a introdução e consolidação desta tecnologia no caso do Brasil? Seria essa uma alternativa

viável, possível e desejável para o nosso contexto? Atualmente, mais do que o entrave em termos de incorporação de maquinário, o grande obstáculo para o desenvolvimento de uma construção civil mais sustentável no Brasil parece dizer respeito à qualificação de seus profissionais.

aging out of the child welfare system. *Social Services Review*, 81, 453-484.

Referencias

- Buswell R.A., Soar R.C., Gibb A.G.F., Thorpe A. Freeform Construction: Megascale Rapid Manufacturing for construction. In: *Automation in Construction* 16,2007, p.224–231.
- Celani, G.; Pupo, R. T. Prototipagem Rápida e Fabricação Digital para Arquitetura e Construção: Definições e Estado da Arte no Brasil. *Cadernos de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo*, Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, v. 8, n.1, p.31-41, jan. 2008a. Disponível em:<
[http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/cpgau/article/view File/244/103](http://www.mackenzie.br/dhtm/seer/index.php/cpgau/article/view/File/244/103)>
- Future Of Construction Process: 3D Concrete Printing, 2010. Disponível em:
<https://www.youtube.com/watch?v=EfbhdZKPHro#t=177>
- Iwamoto, L. Digital fabrications: architectural and Material Techniques. New York: Princeton, Architectural Press, 2009.
- Kolarevic, B. *Architecture in the Digital Age – Design and Manufacturing*. New York: Taylor & Francis, 2005.
- Khoshnevis, B. Contour Crafting: Automated Construction: Behrokh Khoshnevis at TEDxOjai, 2012. Disponível em:<
<https://www.youtube.com/watch?v=JdbJP8Gxqog>
- Khoshnevis, B. Automated construction by contour crafting-related robotics and information technologies. *Automation in Construction*, Vol. 13, pp.5–19, 2004.
- Le, T.T., Austin, S.A., Lim, S., Buswell, R.A., Gibb, A.G.F. and Thorpe, A. High-performance printing concrete for freeform building components, *fib Symposium Prague 2011, Concrete engineering for excellence and efficiency*, 2011.
- Schodek, D. et al. *Digital Design and Manufacturing*. New Jersey: John Wiley and sons, 2005.
- Silva, N. F.; Bridges, A. H.; Lima, E. M.; Morais, H. R. A.; Júnior, F. A. S.. A indústria da construção civil está pronta para a fabricação digital e a customização em massa? Uma pesquisa sobre um caso Brasileiro. *Sigradi*, São Paulo, nov. 2009. Disponível em:
http://lecomp.fau.unb.br/moodle/file.php/26/sigradi2009/1079_Neander_Furtado_Silva_Sigradi9.pdf
- Sousa, J. P. From digital to material: rethinking cork in architecture through the use of CAD/CAM technologies. Lisboa, 2009, 348p. Tese de doutorado – Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico.
- Sperling, D. M.; Herrera, P. C. (Editores). *Homo Faber: Digital Fabrication in Latin America (2015)*.— São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo, 2015. Disponível em:
http://www.fec.unicamp.br/~celani/caadfutures_
- Volpato, N. et al. Prototipagem Rápida: Tecnologias e Aplicações. São Paulo: Edgar, 2007. Williams, J. H. (2008). Employee engagement: Improving anticipation in safety. *Professional Safety*, 53(12), 40-45.
- Keller, T. E., Cusick, G. R., & Courtney, M. E. (2007). Approaching the transition to adulthood: Distinctive profiles of adolescents