



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# O MODELO EVOLUCIONÁRIO NO PROCESSO DE PROJETO: APLICAÇÕES NA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA<sup>1</sup>

**SILVA, Filipe (1); ACCIOLY, Luísa (2); LAURINDO, Bárbara (3); TOLEDO, Alexandre (4)**

(1) UFAL, e-mail: filipelopesfsilva@gmail.com; (2) UFAL, e-mail: luisa\_patury@hotmail.com; (3) UFAL, e-mail: barbaralpsantos@hotmail.com; (4) UFAL, e-mail: alexandre.toledo@fau.ufal.br

### RESUMO

A arquitetura contemporânea se apresenta como um campo multidisciplinar que demanda cruzamento de informações complexas, exigindo do arquiteto o domínio de outras áreas de conhecimento. O desenvolvimento dos processos de projeto passa a ser cada vez mais influenciado pela tecnologia computacional. A evolução nas pesquisas em biologia permitiu a transcrição dos padrões da natureza em algoritmos, que possibilitou o desenvolvimento de projetos arquitetônicos por meio de códigos genéticos de seres vivos, tornando análogos os processos da biologia evolutiva e de projeto digital. Este artigo tem como objetivo discutir os processos de projeto de arquitetura baseados na biologia, por meio de tecnologias computacionais. A metodologia consiste em revisão dos conceitos e autores apresentados por Rivka Oxman sobre modelos evolucionários. Os recentes avanços indicam que os modelos de geração evolucionário impactam nos sistemas construtivos e materiais dos edifícios, havendo a necessidade de maior integração de disciplinas no projeto. Busca-se contribuir com a lacuna na discussão acadêmica acerca dos conceitos de morfogênese e arquitetura evolucionária e suas aplicações efetivas na produção arquitetônica contemporânea.

**Palavras-chave:** Arquitetura digital. Modelo evolucionário. Algoritmo Generativo. Arquitetura generativa. Morfogênese digital.

### ABSTRACT

*Contemporary architecture has emerged as a multidisciplinary field that requires crossing complex information, requiring the architect the domain of other knowledge areas. The development of design processes becomes increasingly influenced by computer technology. Developments in research in biology in the last century allowed the patterns of nature could be transcribed into algorithms. This advance enabled architectural designs were developed from genetic codes of living beings, where evolutionary biology processes would be analogous to digital design processes. This article aims to conduct a theoretical discussion of the architecture processes based on biology through computer technologies. The methodology consists of a review of the concepts and authors presented by Rivka Oxman on evolutionary models. Recent advances indicate that generation models from evolutionary architecture impact the construction systems and materials of buildings, with the need for greater integration of disciplines in the project. This work seeks to contribute to the gap in academic discussion about the concepts of morphogenesis and evolutionary architecture, as well as its effective application in contemporary architectural production.*

---

<sup>1</sup> SILVA, Filipe; ACCIOLY, Luísa; LAURINDO, Bárbara; TOLEDO, Alexandre. O modelo evolucionário no processo de projeto: aplicações na arquitetura contemporânea. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais**. São Paulo: ENTAC, 2016.

**Keywords:** Digital architecture. Evolutionary model. Generative algorithm. Generative architecture. Digital Morphogenesis.

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente migração do universo analógico para o digital, nos últimos anos, tem despertado o interesse de pesquisadores que buscam compreender os novos processos de concepção e sua aplicação em projetos de arquitetura. Novas metodologias de projeto surgem para ajudar a mapear esses fenômenos e acompanhar a rápida transformação na qual a arquitetura contemporânea é concebida, desenvolvida e aplicada. Atualmente, cada vez mais, os edifícios são projetados por meio de ferramentas digitais, fazendo-se necessária a discussão e revisão teórica desse tema.

A arquiteta israelense Rivka Oxman, a qual tem desenvolvido trabalho de grande relevância e reconhecimento nessa área, vem discutindo as bases teóricas do design digital e apresentando conceitos e autores que contribuem para a compreensão dos avanços sobre o assunto. No Artigo *Theory of design in the first digital age*, Oxman (2006) argumenta que as novas metodologias de projeto possíveis na era digital podem ser revolucionárias, pois oferecem uma ampla diversidade de alternativas, formas e dinâmicas na arquitetura.

A autora levanta questões centrais a respeito da transformação dos processos de design por meio dos novos meios de tecnologia digital, e propõe uma estrutura conceitual composta por modelos baseados em quatro atividades de projeto: geração, avaliação, representação e desempenho.

No modelo generativo, o projetista desenvolve um sistema, ou seja, uma sequência finita de regras, raciocínios e operações, que oferece soluções baseadas nas melhores possibilidades de resposta ao resultado pretendido. Diferente do modo de projetar convencional, pelo qual o arquiteto tem contato direto com o objeto arquitetônico, sua criação e desenvolvimento; no sistema generativo, o mesmo atua na confecção do sistema, e toda alteração almejada ao objeto arquitetônico é condicionada a uma modificação no sistema inicial de geração.

Oxman sistematiza os modelos de design digital em cinco diferentes classes: classe dos modelos CAD; classe dos modelos de formação; classe dos modelos generativos; classe dos modelos de performance; e classe dos modelos de composição integrada. O modelo evolucionário é definido como uma subclasse do modelo generativo – que possui também como subclasse a geração através da gramática da forma. Podemos ver exemplos aonde o modelo evolucionário combina-se com outros modelos, fazendo assim parte de um modelo de composição integrada. Dentro do modelo de composição integrada, o modelo evolucionário se relaciona com modelos de outras classes, principalmente com modelos de formação, como: o modelo topológico, que explora geometrias não euclidianas; e o modelo de design associativo, baseado nos princípios do design paramétrico e

componentes generativos.

O modelo evolucionário, que se enquadra na atividade de geração, relaciona-se a mecanismos computacionais complexos, nos quais o projetista pode operar e interagir no intuito de encontrar uma forma, a partir de regras generativas. O algoritmo genético é o mecanismo computacional utilizado pelo arquiteto neste modelo de design digital e consiste em um ciclo de buscas que mímica o processo de seleção natural aplicando princípios de evolução na solução de problemas. O principal desafio ao uso dessa ferramenta está na definição do que se busca solucionar, nos dados que poderão ser alterados pelo mecanismo na busca da forma ideal e na especificação clara e objetiva do que é um resultado satisfatório.

## **2 OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é discutir sobre o desenvolvimento de processos digitais de projeto na arquitetura contemporânea, baseada no modelo evolucionário, proposto por Rivka Oxman, no Artigo *Theory of design in the first digital age* (2006).

## **3 METODOLOGIA**

A metodologia consiste em revisão teórica dos conceitos e autores apresentados por Oxman (2006) sobre os *modelos evolucionários*, acompanhado de exemplificação de sua aplicação na arquitetura contemporânea, realizando investigações de como o modelo evolucionário se relaciona com as novas propostas metodológicas de outros autores e profissionais.

## **4 AVANÇOS NA APLICAÇÃO DO MODELO EVOLUCIONÁRIO**

Os modelos generativos e de algoritmos genéticos veem sendo adaptados para ter a sua aplicação ampliada à várias metodologias, a parametrização e a modelagem de superfícies topológicas podem surgir integradas como parte desse processo. Nos diferentes casos a função do algoritmo de encontrar a melhor solução passa a possuir uma importância que varia de acordo com o projeto em questão. A metodologia utilizada pode então limitar ou não a função do algoritmo genético.

O design generativo precisa de cuidados, uma completa randomização dos parâmetros da forma dificilmente alcança algum resultado de design satisfatório, é preciso controlar os níveis de randomização e também os seus limites, assim como é igualmente importante a intencionalidade, representada pela solução ótima, previamente estabelecida pelo arquiteto.

A importância da intencionalidade - no uso de ferramentas algorítmicas - é para John Frazer o aspecto mais relevante da arquitetura evolucionária. Este aspecto é também foco da discussão, embasada nas práticas contemporâneas e no pensamento de autores como John Holland, Stephen

Gould, Nascimento, Peter Bentley, Michael Hensel, Achim Menges, Michael Pawlin e Neri Oxman.

#### **4.1 Modelos evolucionários em arquitetura**

O *modelo evolucionário* em arquitetura se apropria de técnicas de geração de formas encontradas nos seres vivos na natureza. Essa geração de forma, no modelo evolucionário é derivada de uma codificação inspirada na genética de sistemas biológicos, pela qual o projetista insere as informações que resultam em um processo criativo de formas considerado evolutivo a medida que se aproxima da solução ideal almejada pelo projetista.

Este processo se tornou possível depois que o cientista John Holland criou os algoritmos genéticos no campo da biologia, na década de 1960, com o objetivo de buscar melhores soluções em meios que se modificam. Segundo Nascimento (2014), os algoritmos criam mecanismos de adaptação entre elementos distintos, mantendo a sua performance e organização com inspiração nos sistemas biológicos, nos quais populações distintas são combinadas e selecionadas “naturalmente”, por meio de mutações calculadas de forma aleatória e outros fenômenos.

A computação digital e a exploração da complexa lógica encontrada em sistemas biológicos e ambientais levam à criação de algoritmos digitais que imitam esses sistemas para serem adaptados à arquitetura. São os relacionamentos entre as partes e sua lógica de “pensar junto” com o todo que permitem que algoritmos genéticos criem complexidade, por meio da repetição de regras simples (HOLLAND, 2011).

Os primeiros algoritmos genéticos vinculados a padrões da natureza (L-systems e Cellular Automata) imitam, de acordo com Holland (2011) a “ramificação” natural encontrada em plantas e outras estruturas celulares, assim como usam um sistema binário que remete à lógica dos padrões de geração de população. Arquitetos têm se apropriado do conhecimento de algoritmos para elaborar sistemas geradores de formas e racionalizar as inter-relações de seus projetos.

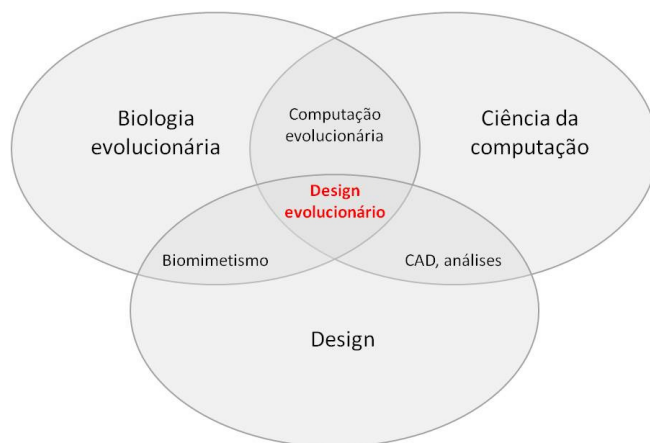
Segundo Weinstock (2010), a aplicação de técnicas de arquitetura evolucionária vem sendo observada em larga escala, sendo aplicadas a elementos distintos do edifício contemporâneo - a exemplo de envoltórios de forma complexa - mas a aplicação de um processo evolucionário que englobe o edifício como um todo só aconteceu em experimentações teóricas ou virtuais.

#### **4.2 Arquitetura evolutiva e morfogênese**

Proposta pelo arquiteto John Frazer, a arquitetura evolutiva se apoia no conceito de algoritmos genéticos, unindo principalmente estas três disciplinas: arquitetura, computação e biologia. De acordo com Nascimento (2014), o cientista da computação e Doutor em computação evolutiva

aplicada ao design Peter Bentley, desenhou um diagrama das inter-relações das áreas de conhecimento desta pesquisa.

Figura 1 – Representação em diagrama das relações interdisciplinares propostas por Peter Bentley.



Fonte: Nascimento, 2014.

A obra *An Evolutionary Architecture* do arquiteto John Frazer (1995) faz analogias com processos da natureza de evolução e *morfogênese*, mediante uma visão do futuro da arquitetura em criar construções orgânicas. Sendo um termo inicialmente aplicado no campo das ciências biológicas, *morfogênese* refere-se ao uso da lógica na geração de forma e na produção de padrões em um organismo vivo mediante processos de “crescimento e diferenciação”, desenvolvendo formas por meio da formação de tecidos, órgãos e sistemas.

Os arquitetos Michael Hensel e Achim Menges, enxergam a *morfogênese* como a origem e o desenvolvimento de um organismo e sua evolução. Seus estudos propõem que a estrutura da forma se dá em um processo contínuo, passível de entendimento por intermédio de métodos científicos, e que esse processo pode ser quebrado em etapas e transcrito em linguagem computacional por meio de algoritmos (HENSEL et. al, 2004).

O arquiteto busca otimização de sistemas e evolução de modelos que sejam mais ambientalmente conscientes e sustentáveis. O resultado desse processo de design passa a ser uma imitação de mecanismos genéticos de seleção natural, que por sua vez, de acordo com Stephen Gould e seu trabalho *The Structure of Evolutionary Theory* (2002) é quase que exclusivamente o único mecanismo de adaptação evolutiva.

## 5 APLICAÇÕES NA ARQUITETURA CONTEMPORÂNEA

A aplicação da *morfogênese* digital na arquitetura contemporânea se atém, segundo Oxman (2010), a processos nos quais a forma é “encontrada” e não “proposta”. Desse modo, a forma surge da geração, simulação e otimização dos modelos por meio dos algoritmos genéticos. Dentre os

conceitos de *morfogênese* da biologia, os que possuem maior aplicabilidade ao projeto arquitetônico são: o surgimento, a relação da parte com o todo, os sistemas auto-organizáveis, a adaptação evolucionária e a topologia (OXMAN, 2010).

Hoje, a maior parte do uso de padrões da natureza em edifícios é restrita a elementos específicos da edificação, como um envoltório ou uma fachada, não se fazendo presente na concepção do edifício como um todo. O padrão matemático representado na fórmula de "Voronoi", por exemplo, é amplamente utilizado na arquitetura de *morfogênese*. Como exemplo, o envoltório do Centro Aquático Nacional de Pequim, projetado pelo escritório PTW Architects para as Olimpíadas de 2003.

Figura 2 – Centro Aquático Nacional, Pequim.



Fonte: Peddle Thorp & Walker, 2016.

O padrão "Voronoi", da planta *Coleochate Orbicularius*, foi utilizado pelo arquiteto Stanislav (2009) por meio de um modelo computacional de seu crescimento, em uma proposta para envoltório. Um novo entendimento no uso de métodos generativos baseados em performance propõe que o objeto arquitetônico seja eficiente em múltiplos requisitos, já que inicialmente o uso do algoritmo como método de busca por desempenho focava em um único aspecto.

Weinstock (2006) expande essa dicotomia mostrando que sistemas de vida natural usam processos de "crescimento e diferenciação" e não "otimização e padronização". A crítica de Weinstock (2006) incentivou o aparecimento de um novo modelo de processo de projeto, desta vez análoga ao processo evolutivo de Gould (2002), pelo qual o objeto arquitetônico é submetido a múltiplas etapas de evolução pontual, cada uma por meio de um novo processo generativo, que não é necessariamente um processo generativo baseado em um processo biológico.



Michael Pawlin justifica a adoção de padrões da natureza através da biomimica, segundo ele a natureza possui bilhões de anos de evolução, que nos proporciona um catalogo de soluções eficientes, com eficazes níveis de adaptabilidade e economia de recursos que se fazem necessárias às soluções de arquitetura.

No projeto do Eden Project ele mostra como as ideias aplicadas da biologia levaram a uma eficiente estrutura de cobertura do edifício. O objetivo foi alcançado com o uso de um polímero de alta resistência, que possibilitou elementos de tamanhos maiores que o vidro, por ser também mais leve, esse elemento diminui a necessidade de estruturas robustas de sustentação, utilizando muito menos aço, os benefícios foram múltiplos já que com menos aço há maior penetração de luz e com menos peso se consegue economias também na fundação do edifício.

Figura 3 – Eden Project.



Fonte: Michael Pawlin, 2010.

A cada etapa de processo evolucionário, um novo potencial generativo é incorporado ao indivíduo, que melhor atendeu à expectativa desejada na etapa anterior. O indivíduo (objeto arquitetônico com melhor performance) é então selecionado e cruzado com um novo algoritmo para incorporar novos potenciais projetuais. Esses potenciais podem ser classificados em quatro categorias principais de performance: otimização (custos, estrutura, circulação); espacial (tamanho, relação com o espaço público) ambiental (solar, ventilação, uso energético, coleta de água, luz natural etc.); projetual (iluminação natural, vistas, inovação, propriedades materiais, dimensionamento). Entender a relação do produto final desejado e do algoritmo digital, se torna o fundamento principal em estabelecer metas projetuais desde o princípio em consonância com o projeto a ser gerado.

## 6 CONCLUSÕES

As tecnologias computacionais trouxeram relações análogas entre arquitetura e biologia, de modo que a arquitetura passou a ser comparada às estruturas vivas da natureza. Da mesma forma que os seres vivos no meio

ambiente se reconfiguram para continuar evoluindo, a arquitetura evolutiva busca melhor se adaptar ao sistema e ao meio para solução de problemas.

O design digital vem se tornando cada vez mais um fenômeno revolucionário da arquitetura. Suas conexões interdisciplinares se fazem necessárias na concepção de projetos, influenciando diretamente a produção arquitetônica contemporânea. Novos processos são desenvolvidos a todo instante a fim de acompanhar na mesma velocidade todo o avanço da arquitetura evolucionária.

Conclui-se que as inter-relações entre as áreas de estudo pesquisadas (arquitetura, biologia e computação) geram grandes reflexões sobre as metodologias de processo de projeto digitais que impulsionam evoluções nos âmbitos tecnológicos e ambientais. Faz-se necessário toda uma transformação na cadeia produtiva da construção civil, desde projetistas - na concepção - até profissionais envolvidos na execução de obras arquitetônicas, para oferecer edifícios que retratem verdadeiramente esta era digital.

## REFERÊNCIAS

GOULD, S. J. **The structure of evolutionary theory**. Cambridge: Harvard University Press, 2002.

HENSEL, M.; WEINSTOCK, M.; MENGES, A. Emergence: morphogenetic design strategies. **Architectural Design**, vol. 74, num. 3. Wiley-Academy, 2004.

HOLLAND, John. **Adaptation in natural and artificial systems**. Cambridge: MIT Press, 1992. Sem chamada no texto!

HOLLAND, Nate. Inform Form Perform. Parametricism (SPC) ACADIA Regional. **Conference Proceedings**. pp 131-140. University of Nebraska, 2011.

NASCIMENTO, Anelise V. **Fronteiras permeáveis entre a arquitetura e a biologia – processos de projeto digital**. Dissertação (mestrado em Arquitetura) Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, n. 27, p. 229-265, May 2006.

OXMAN, R. Morphogenesis in the Theory and Methodology of Digital Tectonics. **Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures**. Vol. 51, No. 3 September n. 165, pp. 95-205, 2010.

STANISLAV, R. Towards Morphogenesis in Architecture. **International Journal of Architectural Computing**, 7 (3), pp. 345 – 374, 2009.

WEINSTOCK, M. Self-Organization and the Structural Dynamics of Plants. **Architectural Design**, vol. 76, num. 2, pp. 60-69. Wiley-Academy, 2006.



WEINSTOCK, M. The Architecture of Emergence: The Evolution of Form in Nature and Civilisation. Wiley 2010.