

IV PROJETAR 2009
PROJETO COMO INVESTIGAÇÃO: ENSINO, PESQUISA E PRÁTICA
FAU-UPM SÃO PAULO BRASIL
Outubro 2009

EIXO: PROPOSIÇÃO

CONCEPÇÃO NA ERA DIGITAL
O MÉTODO GERADOR DE FORMAS

FLÁVIA BICCAS DA SILVA POLONINI

arquiteta

rua desembargador sampaio nº352,
ed. ludimila, apto.102, praia do canto,
vitória, es, CEP:29055-250
flabiccas@yahoo.com.br

Palavra-chave: Tecnologia Digital, concepção, forma

Eixo: Proposição.

Resumo

Este artigo apresenta uma investigação de método projetual existente na Arquitetura Digital, uma forte vertente na arquitetura internacional atual, que é baseada num corpo teórico e em novas tecnologias, ambos advindo da era da informação, permitindo a produção de objetos de alto nível de complexidade.

Baseado em literatura internacional e apresentando partes dos resultados do projeto de graduação do(a) Autor(a), demonstra como essa prática se utiliza de tecnologias da informação, que remodelaram o comportamento da sociedade recentemente, no seu processo de concepção através do exemplo do método, Digital Morfogêneses. Como consequência, o artigo pondera sobre as diferenças existentes entre o uso da tecnologia digital e do método convencional.

Keywords: Digital technology, design, form.

Axis: Proposition.

Abstract

This paper presents an investigation of existing design methods in Digital Architecture, a strong trend in the current international architecture, which is based on a theoretical discourse and on new technologies, both derived from the Information Age, allowing the production of objects of high complexity.

Based on international literature and presenting parts of the results of the Author's undergraduate monograph, the paper demonstrates how the architectural practice uses information technologies, which rewritten recently the behavior of the society, in the design process through the example of the method, Digital Morphogenesis. As a result, the article ponders on the differences between the use of digital technology and the conventional method.

Palabras-llave: Tecnología digital, diseñar, forma.

Eje: Proposición.

Resumen

El presente trabajo presenta una investigación del método de proyecto en la Arquitectura Digital, una fuerte vertiente en la actual arquitectura internacional, que se basa en un cuerpo teórico y en las nuevas tecnologías, ambos derivados de la era de la información, permitiendo la producción de objetos de alta complejidad.

Basado en la literatura internacional y la presentación de los resultados del proyecto de grado del autor, el estudio muestra cómo la práctica de los usos de las tecnologías de la información que se reformaran en el comportamiento de la sociedad, en el proceso de diseño por medio del ejemplo del método, *Digital Morphogenesis*. En esse contexto, el trabajo pondera sobre las diferencias entre el uso de la tecnología digital y el método convencional.

Introdução – Arquitetura Digital

A Era da informação gerou impactos profundos na sociedade, na cultura e na economia, na qual o computador interpretou um papel único. Seus efeitos na arquitetura começaram com a entrada – mais generalizada – do computador pessoal nos escritórios de arquitetura, na década de 80, quando surgiu uma segunda geração suficientemente potente para permitir o uso de programas de CAD e de preço acessível, que foram adquiridos por escritórios de porte médio e pequeno¹. Essas novas ferramentas computacionais somente mimetizavam o processo tradicional de desenho, baseado no “paradigma *perspectívico*, – onde predomina o espaço cartesiano e as perspectivas com pontos de fuga”² – substituindo a prancheta e mais a frente a maquete, através do uso da computação gráfica para a representação realista que gerava uma maquete 3D ou eletrônica.

A seguir, o computador deixou de ser uma ferramenta de desenho para se tornar uma ferramenta de projeto com a inserção, no campo da arquitetura, das tecnologias digitais de concepção e produção de produto, utilizadas pelo campo de desenho industrial, que permitiu projetar diretamente em um ambiente virtual a modelagem do produto em um ambiente tridimensional artificial e simulação através da produção acelerada de protótipos.

Essas tecnologias estão enraizadas na proposta da Arquitetura Digital, que as utiliza para a produção de obras que integrem o computador em seu processo de projeto, usando-o para investigar novas espacialidades, novos designs e novas estéticas. Essas novas propostas incorporam princípios advindos da Revolução digital como a interatividade, reconfigurabilidade, personificação, dinamismo e animação, utilizando-os como conceito de ocupação e organização do espaço e do programa arquitetônico.

Além disso, essa técnica promoveu grande liberdade geométrica permitindo projetar objetos de alto nível de complexidade, mas também, ofereceu soluções para dificuldades construtivas dos mesmos através de novas formas de construção.

Apesar de existir nessa área uma diversidade de denominações, conceitos e linhas de pensamentos, pois não existe nenhum movimento monolítico, pode-se definir Arquitetura Digital como uma arquitetura que capture o espírito da Era da Informação através do uso das tecnologias digitais como uma media expressiva³. Seus interesses estão voltados para uma discussão mais ampla da arquitetura no âmbito da tecnologia da informação, demonstrando mais que uma decisão orientada dos arquitetos, mas uma resposta ao ambiente que os rodeia⁴, ao contexto que vivem, logo à sociedade digital. Assim, a Arquitetura Digital trata do contexto sócio-cultural em que se insere, do mesmo modo que o Modernismo pensava para era das máquinas, essa é pensada para a era da informação.

¹ Celani, 2006, p.01

² Santos, 2001, p.01

³ Kolarevic, 2005, p.27

⁴ Haycock, 2002, p.07

Apesar de ser um assunto emergente no Brasil, segundo OXMAN e ROTENSTREICH⁵ a Arquitetura Digital tem consolidado sua forte presença internacional, nas últimas décadas, não só nas associações de arquitetos dedicados a essa área (Sigradi, Caadria, Ecaade e etc), mas em várias obras construídas, nas competições, nas exposições, nos eventos públicos, nas conferências e nos escritórios de arquitetura. Dois grandes exemplos disso foram a construção do Museu Guggenheim de Bilbao, do arquiteto Frank Gehry (1992-1997) e a exposição *Non-Standard Architectures* realizada no *Pompidou Center*, Paris em 2002.

Tecnologias Digitais e matemática avançada

A Era da informação produziu uma gama variada de tecnologias digitais que já são utilizadas na criação, desenvolvimento e fabricação de produtos em vários tipos de indústrias, como as de automóveis, aviões e barcos, mas também nas de animação e efeitos especiais.

De uma forma geral essa tecnologia é chamada de CAD/CAM, aonde CAD (Computer Aided Desing - Projeto Auxiliado por Computador) é o processo de projeto que se utiliza de técnicas gráficas computadorizadas, através da utilização de programas computacionais (software) de apoio, auxiliando na resolução dos problemas associados ao projeto.

Por sua vez, CAM (*Computer Aided Manufacturing - Fabricação Auxiliada por Computador*) trata de todo e qualquer processo de fabricação controlado por computador, no qual o grupo de equipamentos mais comuns são os que utilizam o processo de CNC (Computer Numerical Control - Controle Numérico Computadorizado).

Esse artigo vai tratar dos programas computacionais (CAD) e dispositivos físicos (CAM) que foram adotados pela arquitetura e que são utilizados dentro da etapa de concepção formal.

Nessa fase, pode-se destacar dois dispositivos físicos que são muito utilizados, o Scanner Tridimensional (3D) e a Prototipagem Rápida (Rapid Prototyping).

O Scanner 3D é utilizado como uma mídia tradutora do espaço físico para o digital, através da digitalização das maquetes arquitetônicas. Sua função é capturar a geometria dos modelos físicos, interpretá-las e produzir um modelo digital aproximado que poderá ser desenvolvido em maiores detalhes.

Já a Prototipagem Rápida (PR) é uma tecnologia que possibilita produzir modelos e protótipos, em pequena escala, diretamente do modelo 3D gerado no sistema CAD, sendo um processo no sentido do digital para o físico. Esse equipamento gera a peça a partir da união gradativa de substâncias em pó através de jatos de cola, camada por camada (layer-by-layer), a partir de seções transversais do modelo. Os equipamentos mais comuns para a PR são a Impressora Tridimensional (3D) e a Stereolitografia. A aplicação da PR no processo de projeto possibilita aos arquitetos a produção de modo automático de modelos tridimensionais precisos e acabados, de qualquer forma e em suas dimensões finais, com níveis altos de complexidade e de detalhes, tudo em tempo reduzido em relação aos métodos convencionais.

⁵ 2005, p.474

Ambos dispositivos físicos são utilizados ao longo da etapa de concepção formal para estudos de volumetria, pois criam uma ponte entre o ambiente digital e o físico. Por exemplo, inicia-se o projeto por um método digital formativo que gerará um modelo tridimensional artificial, que por sua vez será produzido fisicamente através de Prototipagem Rápida. Essa maquete poderá ser manualmente estudada e sofrer as alterações desejadas fisicamente. Logo após, as modificações feitas são capturadas pelo Scanner 3D e cruzadas com o modelo digital anterior e registradas. Esse processo pode se repetir continuamente até atingir o estágio desejado pelo arquiteto, num diálogo constante entre digital e físico.

Agora, há uma grande variedade de programas computacionais advindos dessas novas tecnologias digitais, como o Formz (AutoDessys), Rhinoceros (McNeel), os programas vindos da indústria de animação, Softimage (Autodesk), Alias (Autodesk) e Maya (Autodesk). Por fim, o Catia (IBM) que foi utilizado por Frank Gehry para projetar o Museu Guggenheim de Bilbao.

O que esses programas possuem em comum é o uso de matemática avançada para descrever sua geometria e suas operações, pois diferentemente dos modelos anteriores que se utilizavam de geometria cartesiana, estes usam principalmente o Cálculo e a Topologia.

O Cálculo diferencial e integral, também chamado de Cálculo infinitesimal, ou simplesmente Cálculo é um ramo importante da matemática, que se dedica ao estudo de taxas de variação de grandezas (como a inclinação de uma reta) e a acumulação de quantidades (como a área debaixo de uma curva ou o volume de um sólido). Desenvolvido inicialmente por Isaac Newton e Gottfried Leibniz em trabalhos independentes é a matemática a ser empregada onde há movimento ou crescimento e onde forças variáveis agem produzindo aceleração⁶.

A Topologia é o estudo de propriedades de figuras geométricas invariantes sob transformações topológicas, ou seja, o estudo das propriedades intrínsecas de formas geométricas que não são afetadas por mudanças de forma ou tamanho, pois os “objetos” na topologia são constituídos de “materiais perfeitamente elásticos”, análogo a uma borracha. A Topologia, que também foi pesquisada por Leibniz e chamada por ele de “geometria de posição”, se preocupa com a relação estrutural do objeto e não com sua geometria, possibilitando que uma mesma estrutura topológica possa se manifestar em várias formas⁷. Apesar da Topologia não se fixar na forma, suas operações possibilitam o trabalho e desenvolvimento de formas complexas, antes dificilmente alcançadas, pois são capazes de serem entortadas, torcidas, esticadas, deformadas enquanto mantém a mesma continuidade⁸.

O uso do Cálculo e da Topologia permite a definição de um espaço orientado por forças interativas entre si e pela descrição de movimentos, ao contrário de pontos de coordenadas. Esta característica cria um ambiente de continuidade e de seqüência, estabelecendo as relações entre objetos, assim definindo uma geometria associativa que está mutuamente ligada. Assim, foi possível a criação do ambiente virtual que possibilita a simulação e a interação de modelos tridimensionais digitais com comportamentos e reações de objetos

⁶ Swokowski, 1994, p.34

⁷ Kolarevic, 2005, p.13

⁸ Lynn, 1995.

físicos, isto é, pode-se simular ambientes realísticos diferentemente dos modelos anteriores que somente o representavam.

O desenvolvimento desses programas computacionais se baseou nesse aspecto do cálculo e da Topologia, e que pode ser encontrado na sua programação através do uso de suas operações chamadas de algoritmos.

Geralmente, esses softwares estão abertos a complementações por parte de seus usuários, chamados de *plug-in*, que permite ao arquiteto criar seus próprios algoritmos para definir novas transformações ou orientações de uso ao programa. Essas alterações preparam o software para simular condições específicas determinadas pelo arquiteto, deste modo criando o método gerador, que pode representar o crescimento de uma planta, o movimento de bolas caindo no espaço ou alguma coreografia experimental entre uma forma inicial e forças selecionadas pelo arquiteto, seja qual procedimento formativo for escolhido.

Método gerador de formas – Digital Morfogênese

A Arquitetura Digital propõem um novo projetar, no qual a arquitetura não mais é desenhada convencionalmente, mas passa a ser calculada digitalmente através do método gerador escolhido, que em vez de modelar uma forma pré-concebida na mente do arquiteto, institui a lógica interna que orienta a criação das formas, um padrão de comportamento pré-determinado.

A Digital Morfogênese, como foi batizada por Kolarevic⁹ é definida, pelo mesmo, como “instrumento gerador para a derivação da forma e de suas transformações”. O método consiste de duas fases:

- 1- São selecionadas as premissas básicas do projeto e as codificadas em linguagem de programação.
- 2- Se faz uso de programas computacionais generativos para gerar a forma, que posteriormente será avaliada.

Assim, o primeiro passo do método gerador é descrever como o mundo é organizado em uma estrutura de dados e como pode-se operar nessa estrutura. Kvan¹⁰ apóia que a intenção de projeto pode ser expressa por meio de bases de dados e algoritmos, possivelmente por que, teoricamente, algoritmo é a abstração de um processo e serve para resolver problemas em um número finito de etapas usando a lógica das operações se-então-senão¹¹.

Um exemplo dessa abstração foi encontrado quando Mitchell¹² estabeleceu, durante pesquisas nos anos 90, uma analogia entre tipos arquitetônicos e definições de classes na linguagem de programação por objeto-orientado.

⁹ 2005, p.13.

¹⁰ apud, CELANI, 2007, p.01.

¹¹ TERZIDIS, 2006, p.XII – prólogo.

¹² 1990, apud, CELANI, 2008, p.20.

Assim, ao invés de estipular fluxogramas de atividades e dimensionar os espaços, o arquiteto cria uma máquina digital abstrata que através da auto-reestruturação do problema gera uma forma como resposta.

Essa máquina digital se utiliza de programas computacionais generativos (Generative modeling) que foram baseados nas pesquisas de Paul Coates em 1995 e consiste na “provisão de mecanismos computacionais por processos gerativos, onde as formas se definem a partir de fórmulas gerativas pré-definidas”¹³, que aqui podem ser separadas em dois sub-grupos, shape grammars (gramática da forma) e modelos evolutivos.

A atual técnica da gramática da forma (Shape Grammar) foi baseada nas pesquisas dos autores George Stiny e James Gips (1972) e é definida como expressões matemáticas para mecanismos computacionais para geração de formas através de regras de transformações¹⁴, isto é, “sistemas de produção gráfica que fornecem um mecanismo formal para a geração de composições à base de formas geométricas e as suas relações espaciais”¹⁵ através de transformações euclidianas como translação, rotação e espelhamento.

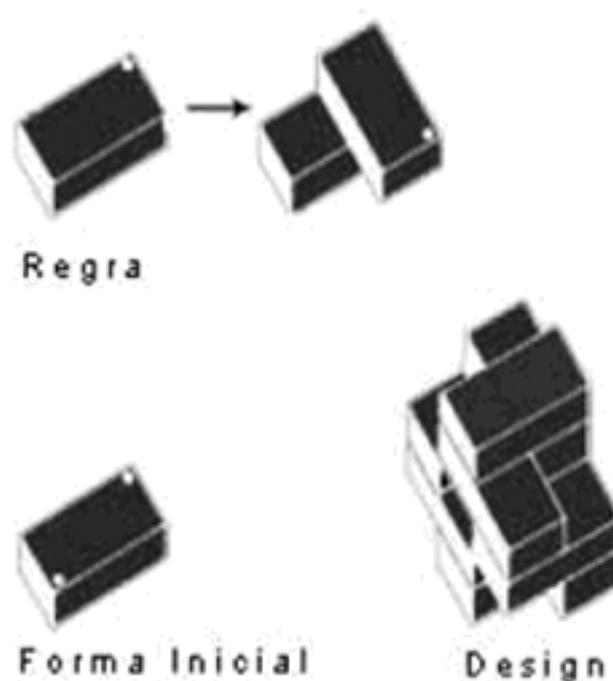


Imagem 1 – Kindergarden Grammar, (STINY, 1980)

Na imagem 1 é demonstrada a geração de uma forma através do uso da forma inicial sofrendo a transformação (regra) de rotação, com o resultado final (design).

Um bom exemplo do uso dessa técnica é o trabalho de José Duarte (2006), intitulado A Grammar for the Patio Houses of the Medina of Marrakech que “extraiu algumas características

¹³ NARDELLI, 2007, p.33.

¹⁴ OXMAN, 2006, p.255.

¹⁵ LIEW, 2002, p.365.

típicas (“regras gramaticais”) que definem o tecido urbano das cidades muçulmanas tradicionais, para aplicação em planos urbanísticos” futuros¹⁶.

Já os modelos evolutivos (Evolutionary Design), segundo Ceccato¹⁷ são métodos pelos quais um conjunto de propriedades comuns é parametricamente codificado e manipulado para a criação de um grupo de objetos similares.

Para Frazer¹⁸ essa definição deve ser complementada com a aplicação de técnicas da inteligência artificial - em especial algoritmos genéticos, automatos celulares e redes neurais - na geração e otimização de estruturas espaciais.

De um modo geral, a inteligência artificial simula as capacidades do cérebro humano de aprender e reconhecer padrões, assim quando utilizadas criam um método gerador inteligente e/ou auto-estruturante que produz uma grande família de objetos similares, que encarnam os critérios especificados no início do processo, isto é, apesar de serem objetos diferentes possuem uma identidade em comum.

Já, os algoritmos genéticos (imagem 2) são espelhados em lógicas de evolução e crescimentos biológicos, assim a geração da forma é derivada de uma codificação interna, o “código genético” do objeto, e suas variações são alcançadas através dos processos de “reprodução”, “cruzamento” e “mutação” das informações iniciais.

O uso desses algoritmos na arquitetura possui um representante forte, John Frazer¹⁹ que propõem a Arquitetura Evolucionária, a considerando uma forma de vida artificial e propondo uma representação genética através de um código-script que se assemelhe ao DNA, o qual poderá ser objeto de processos evolucionários que respondam ao usuário e ao entorno da obra arquitetônica. O objetivo dessa arquitetura é alcançar, no ambiente construído, o comportamento simbiótico e o equilíbrio metabólico encontrado na natureza. Para tanto, deve operar como um organismo, numa analogia direta com o processo de concepção intrínseco da natureza.

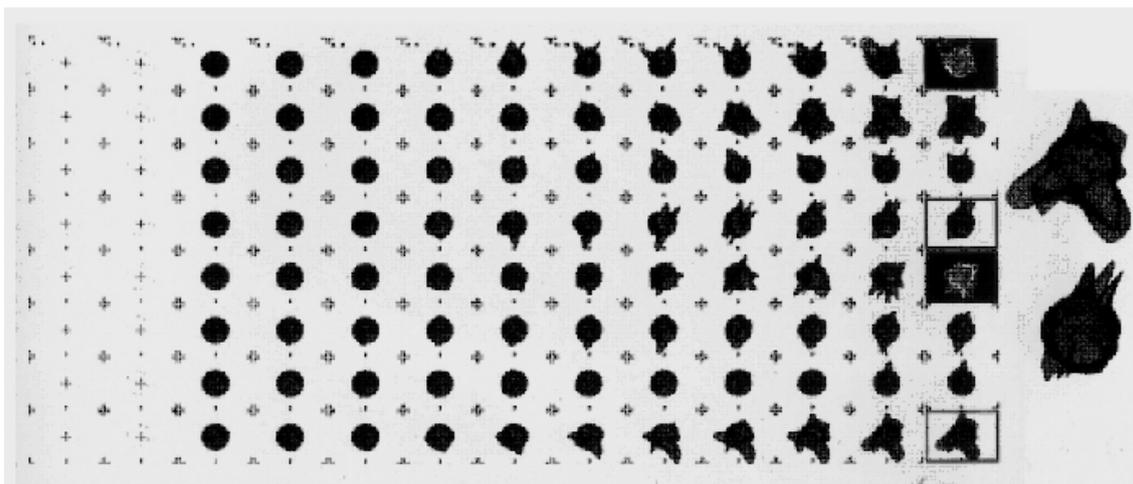


Imagem 2 - Algoritmos genéticos – Ichiro Nagasaka, (FRAZER, 1995)

¹⁶ NARDELLI, 2007, p.33.

¹⁷ 1999, p.154.

¹⁸ apud, CELANI, 2007, p.01

¹⁹ 1995.

Por fim, pode-se dizer que o método Digital Morfogêneses é a utilização da tecnologia de Generative modeling para gerar formas que possuam uma regra interna definida a partir de características culturais, sociológicas, ou de outra natureza, como códigos construtivos, tipologias e linguagem arquitetônica²⁰. Ao final, o projeto é uma formalização de todas as ações e interações do processo.

Este princípio torna possível a produção não só de uma opção formal, mas de uma gama de resultados, que foram criados automaticamente pelos meios digitais, que permite ao projetista escolher uma proposta formal apropriada para desenvolver²¹.

Diferenças e Dificuldades

O projetar da Arquitetura Digital vem propor um diferente processo de projeto, em relação aos métodos convencionais e vigentes atualmente, que basicamente digitalizou grande parte do processo de concepção através de simulações dinâmicas e gerações de formas.

Para que o arquiteto possa explorar e incorporar as novas técnicas, é fundamental a reorganização das funções pré-estabelecidas, aqui o computador é considerado um parceiro com habilidades específicas, no processo de projeto²² e que abranda a carga de variáveis abstrata a serem trabalhadas mentalmente pelo arquiteto, uma vez que as relações e intenções do projeto são “exportadas” para um ambiente digital.

O novo método se constitui numa forma mais interativa e dinâmica de diálogo entre arquiteto e ferramenta²³, pois os computadores possuem um maior feedback que os instrumentos de desenho ultrapassando a sua capacidade de complexidade.

Devido à maior liberdade formal das novas geometrias, da facilidade de projetá-las e das novas capacidades de fabricação houve o surgimento de uma nova estética baseada em formas mais curvilíneas e plásticas. Essas formas complexas causaram uma mudança do método de composição baseado em adição e subtração, simetria e repetição para o procedimento através de transformações e deformações utilizadas para alcançá-las²⁴.

Com a potencialidade de trazer várias formas emergentes desse processo digital aconteceu o deslocamento da metodologia convencional de “representar” a forma idealizada pelo arquiteto para “achar” a forma²⁵, já que agora, o arquiteto passa a procurar e avaliar os resultados para decidir qual a opção se encaixa com sua proposta. Assim, diferentemente dos processos tradicionais, o conceito de representação não é mais o foco central da teoria de projeto²⁶.

Como, por exemplo, na Arquitetura evolucionária onde “ao invés de projetar edifícios

²⁰ TERZIDIS, 2006, p.XII – prólogo.

²¹ LYNN, 1999, p.10.

²² TERZIDIS, 2006, p.VIII – prólogo.

²³ HAYCOCK, 2002, p.05.

²⁴ SHEA, 2004, apud GLYNN, 2005, p.26.

²⁵ KOLAREVIC, 2005, p.13.

²⁶ OXMAN, 2006, p.261

diretamente, o arquiteto projetaria sementes (acorns) capazes” de crescerem e “se adaptarem às mais variadas situações físicas do entorno”²⁷.

Esse método de concepção valoriza o fator de indeterminação no pensamento de projeto através de sistemas abertos que são capazes de gerar diversidade e complexidade. Os sistemas comportam

“o impreciso como o que é virtual, capaz de se atualizar em um acontecimento. Trata-se daquilo que ainda não ocorreu, mas que está potencialmente propício a ser realizado, substituindo-se assim a flexibilidade passiva da neutralidade por uma flexibilidade ativa do impreciso.”²⁸

Esse fator de indeterminação das soluções tem sido apoiado pelo “reconhecimento de que o imprevisível e inesperado é o que frequentemente direciona o caminho para uma invenção poética e uma criatividade transformadora”²⁹.

Algumas dificuldades foram notadas na aplicação do projetar digital. Um maior desenvolvimento da geração de forma depende do conhecimento de programação computacional, cálculo e outras áreas da matemática para produzir algoritmos que descrevam o método gerador desejado, um conhecimento fora do escopo dos arquitetos, que pede no mínimo, a revisão dos currículos de arquitetura, visto que essas matérias não estão contempladas.

Alguns programas generativos são criticados por suas configurações geométricas, uma vez que são essencialmente combinatórios no sentido previsto por Aristóteles, que usava as possíveis composições de um kit de partes para descrever a natureza³⁰, não visualizando as relações entre as peças para entender o todo, assim limitando os possíveis resultados na geração de formas.

Alguns pesquisadores acreditam que ainda há a necessidade de maiores pesquisas para estabelecer como abstrair as informações arquitetônicas em códigos de programação, avaliando, por exemplo, como os critérios pouco definidos e conflitantes de um *briefing* arquitetônico podem ser expressos na linguagem exata da matemática.

Depois de analisar essas mudanças no processo de projeto, se percebe que o projetar digital é uma investigação que se caminha para uma forma mais fluída de alcançar a melhor arquitetura possível para cada ocasião e entorno. E também, que a qualidade do projeto sempre dependerá do arquiteto, e não apenas do programa ou técnica utilizada.

²⁷ CELANI, 2007, p.01.

²⁸ ALMEIDA, LASSANCE, 2008, p.68.

²⁹ KOLAREVIC, 2005, p.27.

³⁰ FRAZER, 1995, p.14.

Bibliografia e Referências:

- ALMEIDA, Marcela Alves de; LASSANCE, Guilherme Carlos. **Metodologia da Concepção Arquitetônica Contemporânea: o caso do grupo Nox**. Gestão & Tecnologia de Projetos, V. 3, n. 2. Disponível em: <<http://www.arquitetura.eesc.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/jornal2/index.php/gestaodeprojetos/article/view/61/94>>. Acesso em maio de 2009.
- CECCATO, Cristiano. **Evolutionary Design Tools for Mass-Customisation**. In: III CONGRESO IBEROAMERICANO DE GRAFICO DIGITAL, 1999, Montevideo. SIGRADI Conference Proceedings. p. 152 - 156. Disponível em: <<http://cumincaad.scix.net/data/works/att/5bce.content.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2009
- CELANI, Gabriela. **ECAADe23 A busca de novos paradigmas para a geração da forma arquitetônica assistida pelo computador**. Seção Drops, do site Vitruvius, em janeiro de 2006. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/drops/drops13_06.asp>. Acesso em 7 de janeiro de 2006.
- . **Sigradi 2006 - Santiago de Chile Um novo paradigma para o uso da informática na arquitetura**. Seção Drops, do site Vitruvius, em julho de 2007. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/drops/drops18_07.asp>. Acesso em maio de 2009.
- . **Teaching Cad Programming to Architecture Students**. Gestão & Tecnologia de Projetos, V. 3, n. 2. 2008. Disponível em: <<http://www.arquitetura.eesc.usp.br/posgrad/gestaodeprojetos/jornal2/index.php/gestaodeprojetos/article/view/73/90>>. Acesso em maio de 2009
- DUARTE, Fábio. **Arquitetura e tecnologias de informação, da revolução industrial a revolução digital**. São Paulo, Annablume, 1999.
- FRAZER, John. **An Evolutionary Architecture**. Londres: Architectural Association Publications, 1995. Disponível em: <<http://www.aaschool.ac.uk/publications/ea/intro.html>>. Acesso em: 18 abr. 2006.
- HAYCOCK, Lorne. **Digital Mediation**. 1 v. Monografia (Bacharel) - Curso de Arquitetura, Dundee University, Dundee, 2002. Disponível em: <<http://www.haycock.fsbusiness.co.uk/disswhole.htm>>. Acesso em 01 de abril de 2005.
- KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the Digital Age; Design and Manufacturing**. New York, EUA. Taylor & Francis. 2005.
- LIEW, Haldane. **Descriptive Conventions for Shape Grammars**. In: ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN IN ARCHITECTURE, 2002. Pomona. p. 365 - 378. Disponível em: <<http://cumincaad.scix.net/cgi-bin/works/Show?b255>>. Acesso em: 19 jun. 2009.
- LYNN, Greg. **Animate Form**. New York, EUA. Princeton Architectural Press. 1999.
- . **Interfacing Realities**. In: Interfacing Realities. Architecture and Media. 13 de agosto de 1995. V2_Archive Portal. Disponível em: <<http://framework.v2.nl/archive/archive/node/text/.xslt/nodenr-128267>>. Acesso em 03 de maio de 2006.

NARDELLI, Eduardo Sampaio. **Arquitetura e projeto na era digital**. *Arquiteturarevista*, São Leopoldo, v. 3, n. 1, p.28-36, jan. 2007. Disponível em: <http://www.arquiteturarevista.unisinos.br/pdf/ART03_Nardelli.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2008.

OXMAN, Rivka E.; ROTENSTREICH, Ruth; **Digital architecture – Towards a new Discourse**, SIGraDi 2005, Anais do IX Sociedade Iberoamericana de Gráfica Digital, Lima - Peru 21-24 novembro 2005, vol. 1, pp. 473-477 Disponível em <http://cumincad.scix.net/data/works/att/sigradi2005_473.content.pdf> Acesso em 15 de junho de 2009.

———. **Theory and Design in the First Digital Age**. 2006. *Design Studies*, Vol 27 No 3. Disponível em <http://www.technion.ac.il/~rivkao/topics/publications/Oxman_2006_Design-Studies.pdf> acesso em 15 de junho de 2009

PIAZZALUNGA, Renata. **A Virtualização da Arquitetura**. Campinas, SP. Papiros. 2005. (Série Ofício de Arte e Forma)

RAHIM, Ali (Ed.). **Contemporary Techniques in Architecture**. London: John Wiley & Sons Ltd., 2002. (Architectural Design).

SANTOS, Ana Paula Baltazar dos, **E-futuros: projetando para um mundo digital**, seção Arqitextos do site Vitruvius. Texto Especial 077, em Junho de 2001. Disponível em < <http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq000/esp077.asp> >, acesso em Outubro de 2005.

SILVA, Camile A. **Liquid Architectures: Marcos Novak's Territory of Information**. 2004. Dissertation (Master of Arts) Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College. Available at: <<http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-01202005-102411/>> in april, 2005.

SPERLING, David Morena. **Arquiteturas contínuas e topologia: similaridades em processo**. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18131/tde-28032006-155803/>>. Acesso em 30 de maio de 2006.

SPUYBROEK, Lars. **NOX: Machining Architecture**. New York: Thames & Hudson, 2004.

SWOKOWSKI, Earl Will, **Cálculo com Geometria Analítica**. vol. 1 e 2, 2ª ed., São Paulo. Makron Books, 1994.

TERZIDIS, Kostas. **Algorithmic Architecture**. Oxford: Architectural Press, 2006. 176 p

ZELLNER, Peter (Ed.). **Hybrid Space**. Londres: Thames&hudson, 1999.

Listagem das Ilustrações

Imagem 01 - Kindergarden Grammar,

Autoria: Stiny G.

Origem: Stiny G. (1980). **Kindergarten grammars: designing with Froebel's building gifts**, Environmental and Planning B, 7, pp. 409-462.

Imagem 02 - Algoritmos genéticos

Autoria: Ichiro Nagasaka

Origem: FRAZER, John. **An Evolutionary Architecture**. Londres: Architectural Association Publications, 1995