



Arquiteturarevista

ISSN: 1808-5741

arq.leiab@gmail.com

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Brasil

Medero Rocha, Isabel Amalia

Arquiteturas nem boas nem más, arquiteturas possíveis

Arquiteturarevista, vol. 7, núm. 2, julio-diciembre, 2011, pp. 142-160

Universidade do Vale do Rio dos Sinos

São Leopoldo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193621371006>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Arquiteturas nem boas nem más, arquiteturas possíveis

Neither good nor bad but possible architecture

Isabel Amalia Medero Rocha¹

Universidade Federal da Paraíba

isabel@portoweb.com.br

RESUMO – Neste artigo, são apresentados conceitos da ciência, da filosofia e da arquitetura que, subjacentes às operações computacionais, fazem parte do bastidor teórico do que se caracteriza na atualidade como “projeto digital”. Estabelece analogias entre as operações computacionais e as operações de projeto, apresentando exemplos de processos e proposições arquitetônicas e analisando definições, técnicas e funcionalidades dos softwares e dispositivos computacionais, que se entrecruzam na abordagem ao programa e ao projeto de arquitetura na era digital. Considera como hipótese que, na era digital, os programas computacionais e os programas de arquitetura não são neutros e têm uma interferência significativa no processo de projeto, transformando a concepção e a produção arquitetônica, gerando produtos definidos pelos Programas.²

Palavras-chave: projeto digital, teoria de projeto, arquitetura experimental.

ABSTRACT – Concepts from science, philosophy and architecture underlying computational operations and shaping the theoretical framework of the currently so-called “digital design” are presented in this paper. It establishes analogies between computational operations and design operations, offering examples of architectural processes and propositions, and analyzes definitions, techniques and functions of computational software and devices, which intersect in the approach to program and architectural design in the digital age. The paper’s assumption is that in the digital age computational and architectural programs are biased and significantly interfere in the design process, transforming architectural concept and production, yielding Program³-defined products.

Key words: Digital Design, design theory, experimental architecture.

Introdução

Numa sociedade informacional, em que arquiteturas possíveis estão sendo geradas por projetistas diretamente em ambiente digital, mudando o modo de concepção e de produção da arquitetura, cabe refletir sobre a delimitação do território da arquitetura.

Denominam-se, neste artigo⁴, de arquiteturas possíveis as proposições que sofrem grande ingerência da ferramenta computacional em sua concepção formal ou viabilização construtiva.

Exemplos paradigmáticos foram escolhidos para refletir o território do possível, propondo uma reflexão sobre a utilização da tecnologia digital com consciência crítica.

Do suporte tradicional – lápis, papel, maquete – acrescido pelo paradigma perspectívico, passa-se, na mídia digital, do CAD tradicional ao CAD paramétrico e às tecnologias dos sistemas BIM – *Building Information Model* (Modelo de Informação da Construção) –, cujas

interferências no processo do projeto foram sendo detectadas com o tempo. O conceito de modelo 3D passou de uma construção do modelo por pontos, linhas e planos (década de 1970) ou operações booleanas com sólidos platônicos (década de 1980), ou ainda por superfícies topológicas de formas (*shapes*) irregulares (década de 1990), para o conceito de modelo 3D único. Este modelo incorpora, além das representações bidimensionais, todas as informações do projeto, cuja manipulação pelo projetista leva à manipulação conjunta de informações de diferentes naturezas textuais e gráficas.

Estas propriedades do modelo permitem ao projetista, através de inputs alfanuméricos, modificar o output gráfico do programa computacional, incidindo indiretamente na forma gerada pelo software, como ocorre no projeto digital de processos generativos. Nestes casos, a informação passa a ser um componente de input na geração da forma em um processo automatizado e com maior ingerência do software. A interferência na geração da forma estabelece um alto grau de decisão do software

¹ Universidade Federal da Paraíba. Cidade Universitária, 58051-900 João Pessoa, PB, Brasil.

² O termo programa, quando grafado Programa, inclui em seu significado software (programa computacional) e programa de arquitetura.

³ The term program, when capitalized Program comprises the meanings of software (computational program) and architectural design.

⁴ Este artigo foi escrito a partir de um capítulo da tese de doutorado da autora, Isabel Amalia Medero Rocha, orientada pelo Prof. Dr. Fernando Freitas Fuão (ver Rocha, 2009) e apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre (RS), em dezembro de 2009.

e alto grau de controle pelo projetista em sua interação com a representação através do ambiente digital.

A incorporação de computar dados no próprio objeto arquitetônico conduz à sobreposição de informação digital e informação física no espaço arquitetônico; são os chamados sistemas interativos.

Nesta tendência, encontram-se as arquiteturas performáticas, a conexão entre ambientes remotos, a utilização de sensores, onde a interação está inerente à intervenção no espaço arquitetônico.

Estes processos de projeto que exploram novas formas de usar o computador como ferramenta criativa, além das formas tradicionais de representar e simular, procuram utilizar os softwares explorando seu potencial e superando suas limitações.

Em projetos onde a forma arquitetônica passa a ser um subproduto durante o processo, assume uma posição prioritária o poder de decisão do projetista na escolha da informação e na decisão formal. Entre diagramas conceituais gerados por campos de forças e na articulação das informações, qual informação será considerada como input estabelece uma postura ideológica do projetista.

Implicações da imagem na era digital e programas computacionais cuja funcionalidade pode incidir diretamente na concepção e modelagem da forma arquitetônica podem pautar estratégias projetuais que repercutem na espacialização do programa de arquitetura.

Neste sentido, o argumento deste trabalho é delineado no bastidor da noção de Programa e é tramado pelas diferentes instâncias de natureza projetual em que interagem Programa e projeto. O termo grafado Programa inclui, em seu significado, software (programa computacional) e programa de arquitetura. O primeiro, programa computacional, refere-se aos softwares, dispositivos e mecanismos utilizados durante a concepção, representação e produção da arquitetura no meio digital. O segundo, programa de arquitetura, geralmente simplificado como programa de necessidades, é considerado mais abrangente, incluindo todos os condicionantes físicos, sociais, culturais, econômicos, tecnológicos e de contexto que se inter-relacionam com o projeto, sendo assim denominado programa de arquitetura (Rocha, 2009, p. 4).

Considera-se como hipótese que, na era digital, os programas computacionais e os programas de arquitetura não são neutros e têm uma interferência significativa no processo de projeto, transformando a concepção e a produção arquitetônica, gerando produtos definidos pelos Programas (Rocha, 2009, p. 7).

Desde início da década de 1990, as ferramentas computacionais permitem novos tipos de modelagem

baseados na produção e manipulação de superfícies curvas contínuas, através de operações topológicas e operações de interpolação, possibilitando o surgimento de novas propostas espaciais com grande plasticidade, através de operações projetuais baseadas em superfícies orgânicas.

O modelo digital tridimensional passa a protagonizar a cena no uso dos programas de computacionais: modelagem a partir de superfícies, extrusão, superfícies de revolução, modelagem sólida, modelagem de formas livres, *Blobby* ou superfícies *NURBS*.⁵

Programas como Sketchup, Rhino, Maya e 3ds MAX, entre outros, começam a fazer parte de experimentações no ensino de projeto de arquitetura, como no exemplo da Figura 1.

Paralelamente, a produção arquitetônica incorpora a tecnologia CAD/CAM e a prototipagem digital, passando esta a ser vista como possibilidade na concepção arquitetônica. Um rito de passagem demarcado pelo projeto do Museu Guggenheim em Bilbao, de Frank Gehry (1992), já tem suscitado experimentações na busca de um entendimento maior sobre a relação entre técnicas, métodos e procedimentos que possam aliar conhecimento e projeto na dialética entre técnica e material numa reinterpretação de sistemas tectônicos convencionais ou não. Ao utilizar de modo interativo, durante o processo de projeto, programas computacionais CAD/CAM/CAE, dispositivos de manipulação digital como Scanner e Laser 3D, e máquinas CNC, Gehry integrou a concepção e a produção arquitetônica operando desde o inicio a ideia, a tectônica e a construção.

Subacente às possibilidades dos programas computacionais de produzir formas orgânicas, proporcionando um interesse em formas complexas em detrimento às formas puras, inicia, na década de 1990, a delinear-se no pensamento arquitetônico uma base teórica que procura entender e dar consistência às mudanças conceituais e estéticas da arquitetura contemporânea.

Paralelamente, o que se debate no texto é o “conceito de informar, que significa dar forma à matéria”. Este é um dos quadros teóricos que caracterizam o Programa e o projeto na era digital. A informação passou a ser a amalgama que movimenta os programas computacionais e os programas de arquitetura e gera a forma arquitetônica.

Flusser, no “Mundo Codificado”, diz que “*in+formação* quer dizer literalmente o processo de dar forma a algo” (Flusser, 2007, p. 28). Os requerimentos programáticos são informações que constituem o input constante durante o processo de projeto no sentido de dar forma à arquitetura. Informação é o fluxo e a amalgama que, ao mesclar-se no Programa como conceitos que se

⁵ *NURBS* (*Non-Uniform Rational B-Splines*) são representações matemáticas da geometria tridimensional que descrevem com exatidão qualquer forma, desde uma linha 2D simples, círculo, arco ou curva, à mais complexa superfície ou sólido 3D orgânica de forma livre (*free-form*). Por causa de sua flexibilidade e exatidão, os modelos de *NURBS* podem ser usados desde processos de ilustração e de animação até a fabricação nos processos de prototipagem rápida (Florio, 2005).

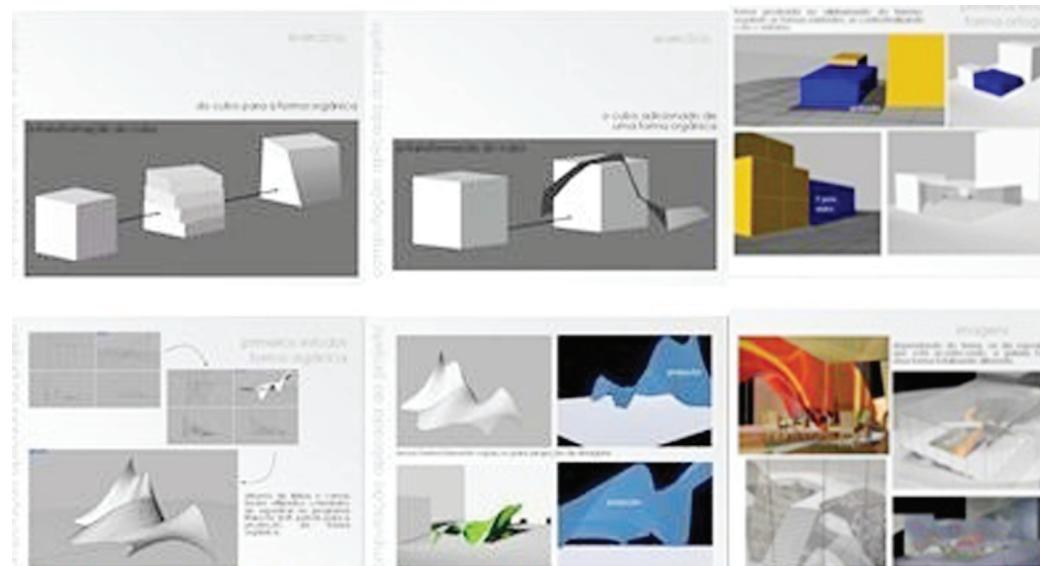


Figura 1. Trabalho acadêmico de Ângelo Dal Bo (Software Rhino, 2007).
Figure 1. Angelo Dal Bo academic working (Software Rhino, 2007).

entrecruzam, ou são excludentes, sinérgicos, sectários, rígidos, flexíveis, matemáticos, computacionais, arquitônicos, normativos, abertos, castradores ou libertários, convergem no projeto e no ambiente do ateliê e são o próprio Programa. Uma arquitetura possível que, no meio digital, é materializada através do Programa.

Forma, geometria, informe e a modelagem digital

Os inputs e outputs dos programas gráficos implicam o entendimento prévio pelo projetista do significado das operações computacionais à luz das operações projetuais, assim como das diferenças conceituais e técnicas, de modelagem e dos comandos dos softwares e dos dispositivos (Rocha, 1998, p. 29). O modo de gerar o modelo e as sequências de ações difere conforme o software utilizado⁶ (Serriano, 2003, p. 187).

O conceito de ordem, cujas regras estabelecem relações regulares e harmônicas de proporção e de ritmo entre a parte e o todo, transparece em obras e projetos da arquitetura clássica e da arquitetura moderna. Esta ideia de clareza e distinção entre os elementos passa a ser subvertida pelas arquiteturas cujas partes se interseccionam gerando formas irregulares e fragmentadas, onde as operações de projeto não procedem de volumes puros definidos por equações ou operações de adição

e (ou) subtração. Embora com diferenças conceituais e temporais, que dão significados diferentes às operações projetuais na arquitetura clássica e na arquitetura moderna, as operações geométricas ainda têm a mesma origem na geometria euclidiana (Rocha, 2009, p. 218).

Na atualidade o conceito de “complexidade” passa a fazer parte da discussão arquitetônica, tanto vinculada à configuração formal, como à sua relação com o discurso teórico. A complexidade opera a partir de elementos que não podem ser distinguidos com a mesma clareza visual; as partes são disíspares e heterogêneas, e o todo está em estado provisório e instável.

Neste sentido, complexidade pode ser considerada a fusão e a contradição entre múltiplos sistemas que não podem ser reduzidos a uma descrição pela geométrica euclidiana. São formas complexas e amorfas controladas pela geometria topológica. Para Greg Lynn, “a característica primária única da complexidade é a unificação provisória de componentes disíspares sem totalidade”⁷ (Lynn, 1998, p. 158). Esse estado provisório é considerado por Florio como uma “nova estética da arquitetura relacionada à teoria do caos e ao campo de estudo da não linearidade”. O princípio que norteia a ciência do caos é de que, a partir de uma forma simples, que se repete numa dada ordem, cria-se a complexidade e que, entre a ordem e o caos, há um estágio intermediário, uma fase de transição que gera instabilidade. As ciências da complexidade, os fractais,

⁶ Para aprofundar este tema, ver “O programa como conceito do programador” e “O programa como conceito do arquiteto” (in Rocha, 2009).

⁷ “The primary characteristic unique to complexity is a provisional unification of disparate components without totality or wholeness” (Lynn, 1998, p. 158).

a teoria do caos e a dinâmica não linear geraram uma linguagem própria que se contrapõe aos cânones clássicos (Florio, 2005, p. 183)⁸.

Ao tratar de formas e espaços complexos, é necessário entender como são gerados os subsistemas que os compõem, especialmente as ferramentas de modelagem tridimensional.

Charles Jencks (1997), em seu livro *The architecture of the jumping universe*, compara a visão modernista assentada numa ciência mecanicista cujo universo é linear, sequencial e determinista com uma nova linguagem estética baseada no *fractal design*, na estética das ondas, dobras, ondulações e torções (*waves, folds, undulations, twist e warp*) que ele denomina de arquitetura não linear. Essa nova linguagem e nova forma de organização estão presentes na arquitetura de Peter Eisenman, Frank Ghery, Daniel Libeskind, NOX, Coop Himmelblau, Morphosis, Eric Owen Moss, UM-Studio, Toyo Ito, entre outros.

Outro conceito que emerge à cena da arquitetura contemporânea é a teoria dos fractais⁹. Em 1979, Mandelbrot, utilizando o computador, percebe que, a partir de uma fórmula simples, poderia gerar, com regularidade geométrica cada vez menor, uma imagem dinâmica *ad infinitum*. Seu estudo levou-o a entender que a geometria dos fractais, ao trabalhar diferentemente da geometria euclidiana (pois é pensada como regras que conduzem à construção do objeto, ao invés de descrever o objeto em si), produz resultados que não podem ser imaginados previamente. Com isso, pequenas alterações nas regras iniciais provocam grandes mudanças na forma final. A

forma produzida por um gerador inicial é semelhante ao todo, ou seja, cada parte da figura suporta forte semelhança com o todo. A esta capacidade das formas dos fractais de ser idênticas em todas as escalas Mandelbrot denomina de *scaling* (Metapólis, 2002, p. 240).

A geometria fractal permite uma descrição dinâmica do espaço, podendo ser aplicada a todos os sistemas dinâmicos que tenham uma complexidade formal como fluidos, nuvens, montanhas, ondas, etc.

Um exemplo da aplicação das regras fractais na arquitetura é o projeto Victoria & Albert Museum (1996) em Londres, de Daniel Libeskind, com a colaboração do Engenheiro Cecil Balmond. Na Figura 2, observa-se o diagrama conceitual e o recobrimento fractal, junto à maquete física do projeto.

Assim como o conceito de desconstrução de Derrida foi utilizado por arquitetos da era digital, para embasar a busca pelo in-forme, pelo desconstruído e pelo fragmento, para justificar soluções formais de grande impacto visual e urbano nas operações computacionais, outro tema abordado pelo filósofo se incorporou ao discurso de alguns arquitetos: o conceito de *difference* relacionado ao “acontecimento”. Nesse aspecto, o programa de arquitetura com seus condicionantes e características preestabelecidas passa a ser reinterpretado também como natureza mutante e transitória.

Derrida, na entrevista sobre “Deconstruir la actualidad”, observa que a *difference* remete àquilo que está “por vir”, aquilo que chega de maneira urgente e imprevisível; a própria precipitação (Derrida, 1993, p. 65).

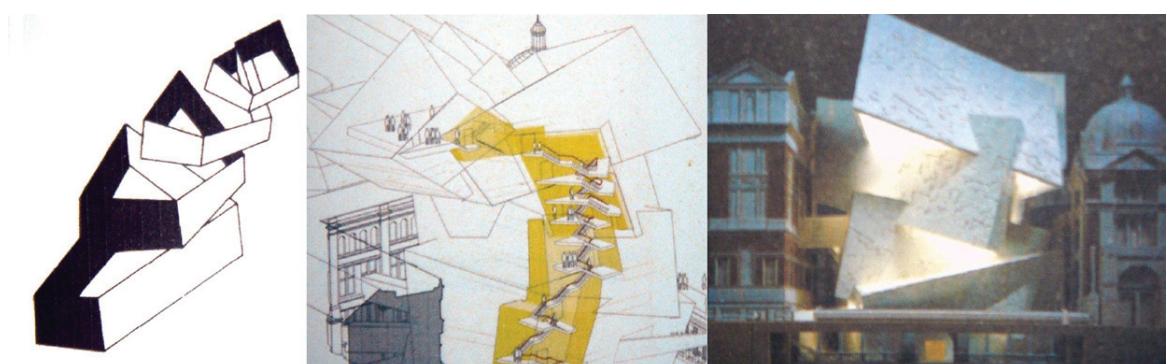


Figura 2. Daniel Libeskin. Victoria and Albert Museum. Diagrama conceitual e recobrimento fractal. Maquete física. **Figure 2.** Daniel Libeskin. Victoria and Albert Museum. Conceptual diagram and fractal covering. Physical model.

⁸ Segundo o autor, pode-se denominar caos tudo aquilo onde não se consegue encontrar uma ordem subjacente; no entanto, muitas vezes, algo com aparência aleatória possui uma ordem subjacente, não visível devido à complexidade das regras que a geraram. O entendimento dessas regras exige uma atitude interdisciplinar, afirmando a importância de analisar o papel da computação gráfica na definição de um “espaço curvo, não linear, fluido e contínuo”, considerando que a composição formal pode ser complexa e não contraditória, quando as relações entre suas partes são harmônicas. Para que isso ocorra, os subsistemas não podem ser contraditórios.

⁹ Embora seja um conceito que venha da Antiguidade clássica grega, a palavra fractal foi cunhada por Benoit B. Mandelbrot, em seu livro *The fractal geometry of nature*. O autor define o conceito a partir da palavra *fractus*, do latim, *frangere*, que significa quebrar, criar fragmentos irregulares; de onde pode ser entendido por “fragmentos”.

A *difference* de Derrida é um pensamento que tenta entregar-se à eminência daquilo que vem ou está por vir, do acontecimento, à própria experiência, a qual tende inevitavelmente “ao mesmo tempo” do outro. Ou seja, não haveria *difference* sem a “urgência, a precipitação, o inevitável, a chegada imprevisível do outro em quem recai a referência e a deferência” (Derrida, 1993, p. 75).

Para ele, o acontecimento não se reduz ao fato de que algo aconteça: se existe certeza de que haverá acontecimento, não será um acontecimento. É um vazio aberto a possibilidades que podem não acontecer: a incerteza.

Utilizado como suporte teórico para criticar o aspecto preciso e previsível das necessidades de um programa de arquitetura no funcionalismo, o sentido de “acontecimento” toca diretamente no tema do programa de arquitetura e norteou o discurso de alguns arquitetos na década de 1980 e 1990. Principalmente Bernard Tschumi, no texto “The Manhattan Transcripts” (1999 [1982]), em seus conceitos sobre o espaço (eventos), o movimento (fluxos) e os acontecimentos; assim como as arquiteturas do grupo NOX, em que os fluxos e os acontecimentos se aliavam à eletrônica para fruição espacial do público. Um dos projetos paradigmáticos do NOX é o Pavilhão Fresch H2O eXPO – *Water pavillion and interactive installation*, Holanda 1993-1997 (Spuybroek, 2004).

A apropriação de conceitos oriundos da filosofia, para explicar operações projetuais na geração de formas complexas, precisa ser pensada com cuidado e num contexto específico. A complexidade está na sociedade contemporânea, cujos problemas arquitetônicos e urbanos derivam num programa de arquitetura muitas vezes complexo e mutável que exige do projetista soluções e estratégias projetuais consistentes.

Os sólidos platônicos versus Blobs

Precursor das formas *blob* (*Binary Large Object*), o arquiteto Frederick Kiesler, na residência *Endless House* (1950-1961), estudou as formas ovoides por meio de telas metálicas revestidas de concreto para moldar geometrias que não podiam ser reduzidas a uma descrição geométrica simples (Florio, 2005).

Greg Lynn, no capítulo sobre *Blobs*, em seu livro “*Folds, bodies & blobs*”, de 1998, utiliza a geometria topológica de polisuperfícies isomórficas para fazer emergir os conceitos de simplicidade e complexidade, assim como as relações entre unitário e multiplicidade, denominadas por Lynn de “uma tipologia para a complexidade”.

No *blobs*, é possível gerar a geometria para modelar uma organização cujas características são definidas por um conjunto de forças que interagem entre si. Por exemplo, partindo da geometria convencional de um objeto como uma esfera definida por um centro, uma área de superfície e a massa relativa a outro objeto geram campos

de influência. Estes objetos primitivos (*metaballs*) são circundados por halos de influência e interagem definindo zonas de fusão em um objeto e zonas de inflecção no outro. Quando dois ou mais *metaballs* são aproximados, redefinem suas superfícies. São formas que emergem da simplicidade de sólidos platônicos para a complexidade do que Greg Lynn denomina de “neoplatônicos” ou *metaballs* (Lynn, 1998, p. 165-170).

Um arsenal de programas computacionais e de terminologias provêm dos efeitos especiais e de animação da indústria cinematográfica e foram incorporados nas experimentações arquitetônicas no início de 1990; como, por exemplo, os programas de modelagem nativos da *Silicon Graphic* fazem parte do *Wavefront 3D design, Dynamation and Kinemation* da *Wavefront technologies, Inc*, assim como o software *Alias Power-animator*, que são conhecidos e utilizados desde a década de 1980.

Estes programas são usados para representar objetos amorfos que evocam um processo contínuo de transformação; a forma final é resultado de um formato inicial, no qual são aplicadas deformações dinâmicas por um campo de forças.

Um exemplo, na Figura 3, de arquitetura *blobs* é o *Bubble pavilion* de Bernard Franken, *ABB Architekten*, Frankfurt, 1999. O sistema foi usado para gerar uma forma dinâmica, expressando a ação exercida pela força física, quando duas bolhas d’água se aproximam. O fluxo dos visitantes foi tomado como referência de trajetória no software de modelagem. Uma trajetória quadrática foi obtida pela projeção da perspectiva de um espectador caminhando. O resultado deste processo foi um ambiente híbrido caracterizado por formas livres, onde o espaço físico e o informacional se sobrepõem.

Bernard Franken, no *Bubble*, aplicou efetivamente o conceito de arquitetura dinâmica; o adjetivo “dinâmico” não se refere somente a uma arquitetura flexível que pode ser modificada ao longo do tempo, mas também descreve o processo criativo do trabalho, isto é, fluxos contínuos fazem parte de formulação programática, das fases do projeto e da construção. O modelo foi examinado usando alguns métodos tais como análise gaussiana e avaliação estrutural pelo Método de Elementos Finitos (Oxman, 2005).

Outro exemplo de arquitetura *blob* (*Blob Architecture*) é o processo utilizado por Greg Lynn no projeto de *Presbyterian Church* em Nova York (1999), representado na Figura 4.

O projeto foi o resultado de um processo colaborativo de três equipes trabalhando em três cidades. Neste projeto, o diagrama inicial ilustra nodos (*metaballs*) que representam elementos funcionais. Embora a forma tenha sido afetada pelo ambiente do entorno, o edifício é uma massa compacta onde as unidades iniciais ainda podem ser identificadas.

Essas primeiras experimentações na geração da forma, muitas vezes de resultados inconsistentes e ques-

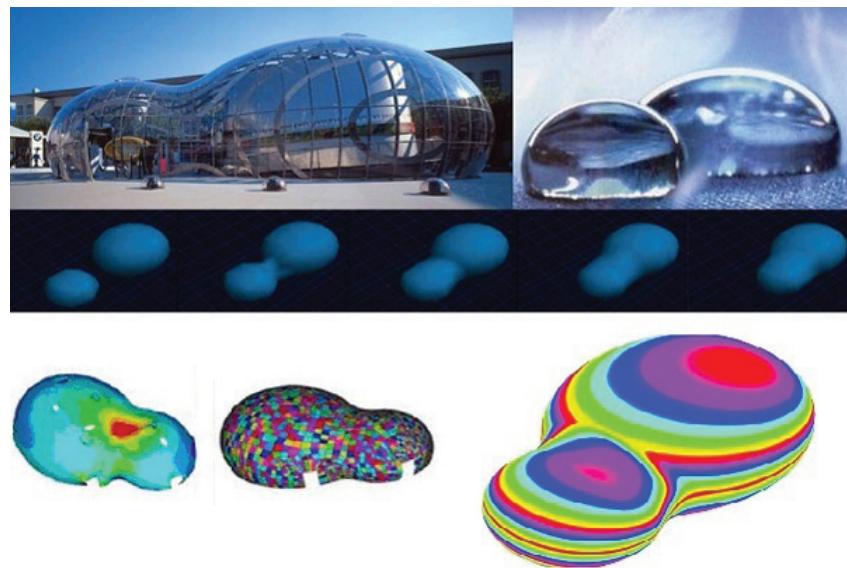


Figura 3. Bernard Franken. Bubble Pavilion, Frankfurt (1999). Obra construída. A tradução da junção de dois “pingos d’água” para um edifício. Análise pelos métodos finitos. Análise Gaussiana da superfície. Painéis de vidro.

Figure 3. Bernard Franken. Bubble Pavilion, Frankfurt (1999). View from the building built. The union version of two drops of water to a building. Analysis by the finite methods: Gaussiana surface analysis. Glass panels.

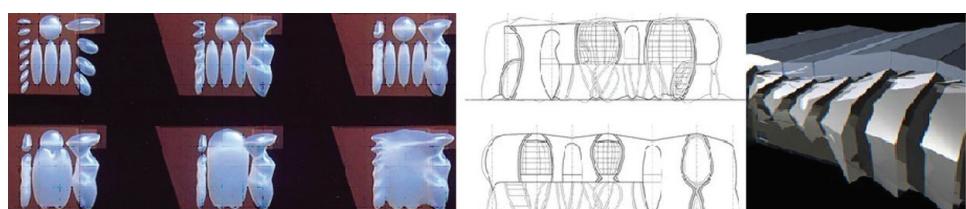


Figura 4. Greg Lynn. Presbyterian Church. New York (1999). Diagrama digital.

Figure 4. Greg Lynn. Presbyterian Church. New York (1999). Digital diagram.

tionáveis, buscavam sua consistência teórica em conceitos matemáticos e físicos devido às possibilidades abertas pela parametrização e fabricação digital, que embora reconhecidas como alternativas tecnológicas em que material e técnica podem sofrer manipulações tectônicas no meio digital, não necessariamente representam qualidade arquitetônica.

Da dinâmica espacial do percurso para uma arquitetura dinâmica

Na busca por outras espacialidades, conceitos exógenos são trazidos ao âmbito da arquitetura. Eisenman propõe um “olhar retrospectivo” como uma antropomorfização do objeto: o deslocamento da visão como resultado de um discurso externo que não seja determinado nem pela expressão do desenho nem pela função. Para fundamentar suas ideias, o arquiteto recorre à Deleuze, interpretando o

deslocamento do ponto de vista como um novo “estatuto do sujeito” e sua relação com o mundo que o cerca. A fita de *Moebius* e as figuras de Klee (Deleuze, 1991) usadas por Deleuze são referências utilizadas pelo arquiteto para representar, no primeiro caso, a busca por uma continuidade ininterrupta entre interior e exterior e, no segundo caso, para demonstrar a possibilidade de continuidade junto à ideia da “dobra”.

Para Eisenman, os espaços dobrados de Deleuze articulam uma nova relação entre o horizontal e vertical, figura e fundo, dentro e fora – conceitos articulados pela visão tradicional. “Ao contrário do espaço da visão clássica, a ideia do espaço dobrado impede o enquadramento em prol de uma modulação temporal. A dobra não privilegia mais a projeção planimétrica, mas uma curvatura variável” (Eisenman, 1993, p. 15).

O discurso de Eisenman propicia que se estabeleça correspondência entre os operadores de projeto e os

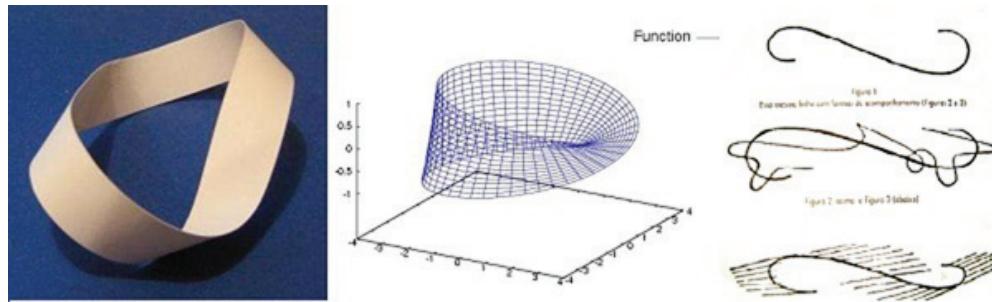


Figura 5. Fita Moebius. Figuras de Klee.
Figure 5. Moebius tape. Klee figures.

operadores dos programas computacionais. Por exemplo, nos programas de animação, as superfícies de curvaturas variáveis, o enquadramento da câmera e os percursos definidos pelo comando *spline* possibilitam sequências lineares e narrativas em um tempo estabelecido por frames com vistas e percursos inusitados. As regras implícitas nos programas, embora definidas inicialmente em um espaço cartesiano, podem ser extrapoladas para o espaço com percursos das *splines*, obtidos, porém, dentro de uma visão tradicional do espaço e ainda com controle do projetista.

Os frames como imagens estáticas com pontos de vista são definidos a critério do projetista, fixando o observador em um plano horizontal ou nas conhecidas vidas de voos de pássaros – vidas aéreas – (câmera e *target*). São imagens técnicas que podem ser manipuladas com camadas de superfícies digitais, definindo texturas (materiais) e propriedades físicas (brilho, luz, opacidade, etc.) inseridas em um contexto (*background*) existente ou imaginário.

É possível movimentar-se em torno do modelo digital, circundando um objeto, por exemplo, (arquiteturas) pelos lados, por cima por baixo – orbitando em todas as direções. Aproximar-se ou afastar-se do objeto (*zoom in/zoom out*), atravessar paredes, gerar percursos (*walkthrough*) transformando escadas em rampas. Ou ainda gerar animações através de percursos estabelecidos pelo programa, (*walk-path e orbit-path*) ou pelo projetista operando uma *spline* (*spin-path*). A partir dessas limitações e restrições dos programas, o arquiteto procura transgredir os scripts existentes, gerando novos scripts inusitados, procurando dar um sentido projetual diferenciado ao significado das operações computacionais. No entanto, na utilização destas operações, o projetista opera, ainda, em arquiteturas com proposições espaciais convencionais, utilizando mais as possibilidades imagéticas dos programas computacionais do que interferindo na própria arquitetura.

No entanto, Deleuze enfatiza o aspecto “afetivo” da Dobra, contrapondo-se ao “efetivo”. Esta dicotomia foi interpretada por Eisenman como o filósofo opondo-se ao espaço formulado por quatro paredes: “A dobra é

mais radical que a de um origami, porque não contém qualquer tipo de sequência linear e narrativa; [...]” e descreve seus projetos dobrados como sendo um primeiro passo no sentido de interpretar a nova visão entre o desenho e o espaço real: “Nos projetos, o sujeito entende que – ele ou ela – não pode mais conceituar a experiência do mesmo modo que fazia na grelha espacial. Os projetos tentam provar este deslocamento do objeto do espaço efetivo: uma ideia de espaço presente (Eisenman, 1993, p. 16).

O arquiteto refere-se ao projeto do Alteka Tower (Figura 6) onde faz um deslocamento da grelha ortogonal cartesiana, dizendo que “os desenhos teriam pouca relação com o espaço que está sendo projetado. [...] as linhas desenhadas são dobradas com alguma lógica primordial, como se fossem partes de uma dobra da teoria da catástrofe de René Thom (Eisenman, 1993, p. 18).

Eisenman pressupõe: “[...] Quando o ambiente é inscrito ou dobrado desta forma [...] não se requer mais (do indivíduo) que entenda ou interprete o espaço. [...] Só é necessário que perceba o fato de que outra ordem existe; a própria percepção desloca o sujeito cognoscente” (Eisenman, 1993, p. 14).

O deslocamento do desenho e da função procurado através de outras “visões” propiciadas por formas irregulares, informes, gerando espaços que causem estranhamento em relação ao espaço tradicional, está, no entanto, extremamente dependente das operações dos programas de modelagem vetoriais de formas complexas.

A fuga ao ortogonal permitida pelos programas de modelagem de formas complexas é de fato a resposta da arquitetura às formulações e ideias de Deleuze sobre a Dobra?

A interpretação, às vezes, literal da “dobra”, num processo de projeto que, por vezes, busca o estranhamento por parte do sujeito em relação ao objeto, resulta numa arquitetura onde as necessidades e desejos humanos não estão sendo atendidos.

O espaço arquitetônico é uma intenção durante a conceituação do projeto, um resultado na concretização do projeto e uma sensação plástica na materialização da obra.

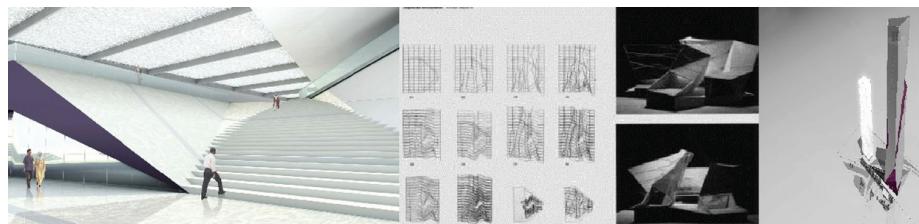


Figura 6. Peter Eisenman. Alteka Tower, Tokio (1991) Esquemas geométricos. Modelo tridimensional. Vista interior.
Figure 6. Peter Eisenman. Alteka Tower, Tokyo (1991). Geometric schemes. Three-dimensional model. Interior view.

O aspecto sensorial qualifica o espaço. Na década de 1920, Le Corbusier, influenciado pelas ideias de vanguarda da época, oriundas do cubismo e da estética De Stijl (Frampton, 1993, p. 145-150, 152), já se refere à relação espaço-movimento-objeto. Em seu texto do *Vers une Architecture* sobre a “Ilusão das Plantas”, enfatiza a tridimensionalidade da arquitetura, referindo-se ao eixo do observador, à luz, aos volumes, ao espaço como “sensação sensorial” (Le Corbusier, 1989, p. 133).

O conteúdo espacial de um projeto transcende a representação gráfica que se faz do mesmo; no entanto, a aproximação efetuada em um enfoque meramente visual, de linguagem gráfica e de analogia com a realidade percebida, é suscetível de refutação quando se aprofunda nas características dos programas de computador e nos diferentes conceitos e estratégias projetuais que podem ser assumidas durante a concepção do projeto. O conceito de espaço dinâmico do modernismo sofre profundas transformações nos conceitos e “programas” na arquitetura contemporânea, com gênese em técnicas de animação dos programas computacionais, assim como em proposições programáticas cujo sentido transcende a funcionalidade e a forma do espaço arquitetônico tradicional. A dinâmica espacial e formal incorpora os conceitos de metamorfose e de informe, possibilitados pela mídia digital.

A transformação formal, durante o projeto gerativo, e a transformação espacial, através de dispositivos sensoriais do projeto interativo, são decisões do projetista. Implicam uma interação grande do projetista com as ferramentas computacionais e com o programa de arquitetura, podendo incluir ou excluir o sujeito que irá vivenciar esses espaços. Passa-se da dinâmica espacial da arquitetura, do percurso definido pelo ponto de vista, de um observador ou de uma *promenade arquitetônica* para o conceito de uma “arquitetura dinâmica”.

O conceito de informe de Bataille, na primeira metade do século XX, considerava o universo como formado por quantidades sem forma (informe). A ideia de Bataille foi confirmada; sabe-se, agora, que de fato o universo não tem uma forma definida: é informe. De acordo às ideias de Bataille, a complexidade do universo não pode ser reduzida e matematizada de um modo convencional, com a pureza determinista da física newtoniana. Para ele,

“o informe era uma tentativa de descobrir estruturas latentes sem ter que recorrer a uma definição exata e precisa, sem necessariamente ‘vestir’ matematicamente os objetos com descrições geométricas” (Florio, 2005).

A natureza do trabalho do arquiteto exige a descrição geométrica do projeto para que se constitua em construção. Até três décadas atrás, a construção de arquiteturas que não tinham uma forma definida era uma atividade de difícil execução, pois o “informe” dificultava traçar sua geometria. Sabe-se que a forma e sua tectônica são condições para viabilizar construtivamente uma arquitetura e que essa viabilização passa pela geometria e pelo desenho: o que pode ser geometrizado pode ser desenhado. Os programas computacionais assumem um papel forte na exteriorização dessas formas através de sua construção.

A tecnologia da fabricação digital está reconfigurando radicalmente a relação entre a concepção e a produção de arquitetura, criando uma inter-relação entre o que pode ser concebido e o que pode ser construído. Processos gerativos digitais estão abrindo novos territórios na exploração de conceitos, formas e tectônicas destas formas, articulando a morfologia e topologia arquitetônica focada em propriedades emergentes e suas adaptações. Isto habilita o projetista a produzir e executar formas muito complexas que, até há pouco tempo, não poderiam ser projetadas e construídas com os meios tradicionais.

Embora a descrição do processo maquínico (método, procedimentos, steps, algoritmos, etc.) (Guattari, 1995) explicitado em diversos experimentos ocupe a maior parte das publicações na atualidade, parece-nos que a questão transcende os aspectos de funcionalidade e operacionalização dos softwares e dispositivos digitais ou de métodos de projeto. O impacto da tecnologia digital utilizada no desenvolvimento de processos gerativos da forma está na sinergia entre os elementos, sistemas e subsistemas arquitetônicos caracterizados na forma/espacoe/estrutura/ envolvente, que nos conduzem a uma reflexão sobre a natureza não apenas do processo projetual, mas da natureza da arquitetura proposta. Uma arquitetura objetual que, por vezes, procura inserir o sujeito na produção do espaço e, em outras, o exclui pelo poder outorgado à representação e produção digital.

A geração da forma arquitetônica como uma arquitetura dinâmica

Os novos aportes ao projeto arquitetônico baseado em técnicas digitais aplicam vários conceitos, tais como Animação (*Animation form* com as suas técnicas de *Keyframing, Morphing, Forward e Inverse Kinematic, Particle System, Keyshape Animation*); Projeto Paramétrico (*Parametric Design*), Polisuperfícies Isomórficas (*Isomorphic Polisurfaces*), também conhecidas como *Blobs*; Sistemas Evolutivos (*Evolutionary Systems*) e Gramática da Forma (*Shape Grammars*).

Na análise destas técnicas, Oxman, em seu ensaio de 2004 (Oxman e Liu, 2004), demonstra que o computador, em alguns casos, tem se tornado um coprotagonista da concepção e idealização do trabalho arquitetônico, quase um coprojetista, um colaborador na definição da forma arquitetônica.

Na pesquisa de novas e complexas formas (*shapes*) que a arquitetura foi capaz de expressar nas últimas décadas, o arquiteto da era digital pode ter contato e aproveitar ferramentas inovadoras, a fim de explorar formas arquitetônicas desconhecidas e mais complexas, com referências não arquitetônicas, como é o conhecido caso de Frank Ghery, que se inspirou na modelagem de uma cabeça de cavalo (*head horse*), criada inicialmente para uma residência e que foi aplicada ao DG Bank em Berlim.

A aproximação ao projeto arquitetônico baseado nestas técnicas digitais tem resultado no denominado projeto gerativo, isto é, a morfogênese digital, introduzindo no âmbito da arquitetura, novos conceitos e processos projetuais, tanto no pensamento teórico quanto no ofício do arquiteto.

Estas técnicas (dispositivos e comandos) inseridas nos programas computacionais são introduzidas no meio arquitetônico, conforme citado neste texto, a partir de programas da indústria cinematográfica, como é o caso do software Maya, e da Indústria de Jogos como o software Blender e a aplicação do Grasshopper. Estes softwares possibilitam metamorfoses em objetos e entre objetos, articulações dinâmicas entre as partes de objetos e a aplicação de forças externas ou internas ao objeto.

A capacidade desses instrumentos digitais para gerarem novas arquiteturas depende em grande parte da habilidade de percepção e cognitiva do projetista. Esta capacidade individual sempre foi essencial na qualidade da arquitetura. Os instrumentos digitais podem mudar e, eventualmente, reduzir a responsabilidade e o papel do projetista na geração da forma arquitetônica. Os métodos digitais, ferramentas e técnicas têm se tornado centrais ao próprio processo de projeto. Observa-se emergir novos processos que mudam pressupostos da teoria do projeto tradicional. Esta questão do papel do projetista na era digital assume relevância, principalmente quando se trata do ensino de arquitetura.

Na transferência e reinterpretação do processo tradicional para o processo “maquínico” de geração da forma (morfogênese digital), nas simulações e alternativas proporcionadas por programas e scripts baseados em algoritmos computacionais e topologia, percebe-se a elaboração de uma das características mais marcantes da arquitetura atual que é a transformação da linguagem formal tradicional numa proposição onde o envolvente (pele), estrutura, espaço e forma fazem parte de uma amalgama única e interdependente.

Conhecer a ação dessas técnicas e o resultado obtido em arquiteturas e experimentações arquitetônicas é uma das condições para se efetuar uma crítica e um uso consistente no ateliê de projeto.

Técnicas geradoras das “arquiteturas dinâmicas”

As técnicas de animação utilizam a interação e inflexão de vetores e forças em um campo criativo e em uma sequência temporal aberta. Este último é possível incluindo uma quarta variável, o tempo, no processo de projeto, além das três dimensões tradicionais. A aplicação de uma variável de força, como uma condição inicial, torna-se a causa, tanto do movimento, quanto de inflexões específicas da forma. A simulação dinâmica leva em consideração os efeitos das forças no movimento de um objeto ou de um sistema de objetos, especialmente a força não originada no próprio sistema: são definidas as propriedades físicas dos objetos, tais como massa, elasticidade, estática, atrito cinético entre outras; são aplicadas forças da gravidade ou do vento; são especificadas forças de colisão e de detecção de obstáculos e simulações dinâmicas computadorizadas. Portanto, a forma pode estar sujeita a uma evolução contínua, pelo uso da animação e de técnicas de simulação de força, que podem representar fluxos de pessoas ou de tráfego, fenômenos meteorológicos ou qualquer outro tipo de força.

A mudança do determinismo para uma espécie de imprecisão, incerteza, torna-se essencial quando se trata com o desenvolvimento deste tipo de projeto dinâmico.

Entre as técnicas de animação mais usadas encontra-se o *Keyframing*, que é o processo de assinalar valores aos parâmetros em momentos específicos, para quadros (*frames*) específicos em uma sequência animada. O sistema está baseado na noção de que o objeto possui uma condição inicial e poderá ir sofrendo transformações ao longo do tempo, em posição, forma, cor ou qualquer outra propriedade, para resultados diferentes na forma final.

O projeto da *Hydrogen House* de Greg Lynn, em Schwechat, Áustria, 1996, é um exemplo do uso desta técnica. A H2 é uma casa projetada como um centro multifuncional de visitação como um *display* de uma nova tecnologia de energia solar. O projeto do edifício utilizou softwares de simulação durante o processo de geração

da forma final. A fachada norte do edifício foi modelada a partir da simulação de um carro em movimento numa autoestrada, conforme ilustra a Figura 7.

O comando *Morphing* corresponde a um efeito especial utilizado em animações. Seu princípio operativo é transformar uma imagem em direção a outra diferente através de uma transição (*seamless*), permitindo interpolar formas intermediárias, entre a forma inicial e a final. Esta forma intermediada é uma forma borrada entre duas formas (*in-between*), um híbrido que apresenta estágios ao longo de uma trajetória. É uma técnica particular de modelagem temporal, na qual formas diferentes são misturadas produzindo uma sequência de formas híbridas (Florio, 2005).

O projeto inicial da *Chimerical Housing* de Kolatan e MacDonald (1999) é exemplo de utilização dessa técnica, para projetos experimentais no processo, de um programa de arquitetura para casas pré-fabricadas geradas a partir da customização das formas intermediárias do *morphing*. Essas casas foram selecionadas de uma série de variantes projetadas digitalmente. As casas exploram a questão da construção em série e da composição orgânica no projeto de arquitetura, a partir de três níveis: a relação dos processos digitais com sua capacidade de várias interações; as transformações nas formas orgânicas e o cruzamento das duas.

Outra das técnicas de animação, utilizadas na computação gráfica, na robótica e na área de animação é a *Forwards* e *Inverse kinematics* (cinemática inversa), que possibilita criar animações dinâmicas para esqueletos com qualquer número de articulações. Cinemática é o estudo dos movimentos de um objeto ou um sistema hierárquico de objetos sem levar em consideração a massa ou as forças que atuam sobre elas.

O *Forwards kinematics* consiste em uma estrutura hierárquica onde cada objeto possui um nível de importância, fazendo com que todos os demais objetos, de nível inferior na hierarquia, acompanhem suas modificações

de dimensionamento, translação e rotação. Já o *Inverse kinematics* tem como característica básica a sua inversão hierárquica, ao contrário da *Forwards kinematics*, fazendo com que o elemento de menor nível hierárquico atue como o de maior nível, controlando os elementos de nível superior (Lucena, 2002, p. 21).

Essas duas técnicas são utilizadas para realizar a animação de esqueletos que, por sua vez, são utilizados para animar personagens (Schuh *et al.*, 2009).

O *Blender* e o *3D Studio Max* possuem funcionalidades avançadas e bibliotecas para trabalhar com cinemática inversa, na criação de modelos 3D. O software 3Ds Max tem uma ferramenta, o *Character Studio*, que proporciona uma geração automática de esqueletos inteligentes. São técnicas de animação que provêm da área de jogos, na animação de personagens e em pesquisas na área acadêmica.

No projeto de Greg Lynn, *House prototype*, em Long Island, esqueletos com um invólucro global são deformados usando *Inverse kinematics* sob a influência de várias situações de forças induzidas. As formas são criadas por forças com direção linear ou radial e com a inclusão de diversos parâmetros para aceleração e turbulência, conforme pode ser visto na Figura 8.

A técnica conhecida por *Particle System* (Sistemas de partículas) se refere a um conjunto de partículas mínimas que servem para modelar algum objeto a partir de um procedimento de modelagem em constante movimento. Os modelos gerados não possuem superfícies suaves bem definidas e não são objetos rígidos; eles são dinâmicos e fluidos.

O projeto para uma cobertura de proteção para as rampas de um terminal de ônibus no Port Authority Bus Terminal NY, de Greg Lynn (Figura 9), oferece um exemplo do uso do *Particle System* para visualizar o gradiente invisível dos campos de atração presentes no sítio. Lynn introduziu partículas geométricas que alteram sua posição

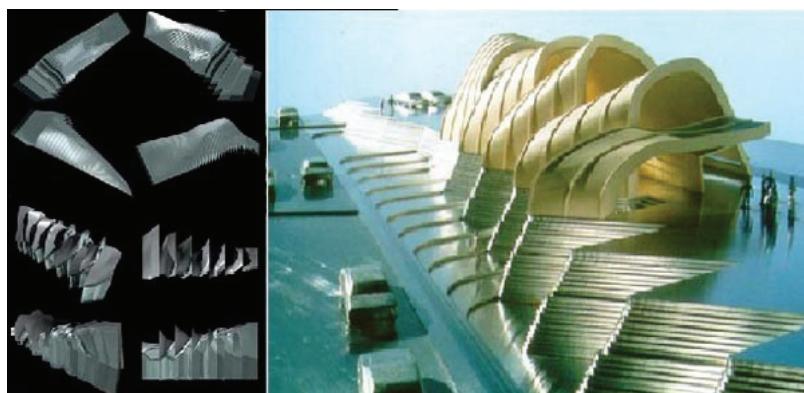


Figura 7. Greg Lynn. Hydrogen House, Schwechat, Áustria (1996). Estudo digital da forma. Maquete física do modelo.
Figure 7. Greg Lynn. Hydrogen House, Schwechat, Austria (1996). Study digital form. Physical model.

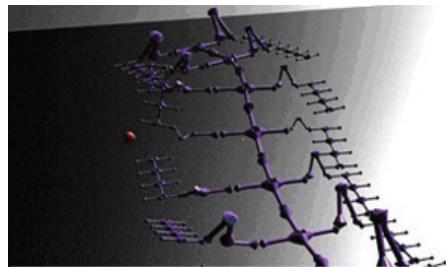


Figura 8. Greg Lynn, House prototype em Long Island, Nova Iorque.

Figure 8. Greg Lynn, House prototype in Long Island, New York.

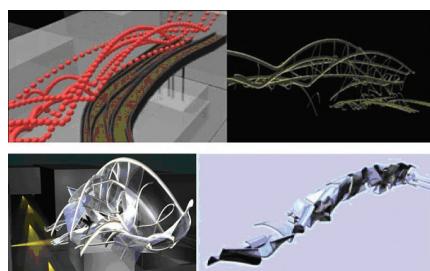


Figura 9. Greg Lynn. Port Authority gateway, New York (1997). Esquema para o terminal de ônibus.

Figure 9. Greg Lynn. Port Authority gateway, New York (1997). Scheme for the bus terminal.

e forma de acordo com a influência de forças que simulam o movimento de fluxo de pedestres, carros e ônibus através do sítio, cada um com velocidades e intensidades de movimento diferentes. Partindo do estudo de partículas, ele capturou quadros de fases de ciclos de movimento por um período de tempo.

Keyshape Animation é uma técnica de animação que gera formas chamadas *Keyshape*. Na animação de *Keyshape*, as alterações na geometria são registradas como *keyframes*, e o software calcula os estados intermediários (*in-between*).

Depois que os *shapes* são definidos em cada *keyframe*, o software cria formas interpoladas em quadros *in-between*. Uma característica importante da técnica é que cada *keyshape* deve ter o mesmo número exato de pontos definidos em sua superfície. Peter Eisenman usa esta técnica para o BFL Software Limited, em Bangalore Índia, conforme ilustra a Figura 10.

Gramática das Formas e Sistemas Evolutivos

A Gramática das formas¹⁰ (*Shape Grammars*), cuja origem é atribuída ao trabalho de Stiny¹¹, é uma abordagem formal generativa que tem sido aplicada para criar formas arquitetônicas, ou seja, é um mecanismo generativo com base em regras de composição formal. Trata-se de uma metodologia precisa no meio visual para gerar linguagens de projeto e também pode ser usada analiticamente como uma engenharia reversa para caracterizar e classificar projetos e padrões de projeto, referidos em estilos arquitetônicos.

As raízes conceituais foram lançadas, na década de 1960, a partir dos métodos de projeto. No livro “A lógica da arquitetura” de William Mitchell, publicado em 1990, pelo MIT, o autor desenvolve “a noção de mundos projetuais que proveem elementos gráficos que podem ser manipulados de acordo com regras gramaticais” (Mitchell, 2008, p. 14).

Atualmente, as definições da gramática têm avançado em um sentido menos compositivo e mais topológico; com isso, ocorre uma mudança de foco do projeto da composição espacial para a incorporação de propriedades tectônicas e morfológicas.

Os exemplos mais divulgados do uso da gramática da forma são a casa Malangueira de Álvaro Siza, estudada pelo pesquisador José Pinto Duarte (2001) e o BioCentrum de Eisenman de 1996, representado na Figura 11.

Os Sistemas Evolutivos (*Evolutionary Systems*) propõem um modelo de evolução da natureza como processo de gerar formas arquitetônicas. O modelo interativo de computador cria uma arquitetura virtual evolutiva em resposta a uma alteração do ambiente. Nesta abordagem, a evolução genética da forma (DNA) está baseada em regras, definindo o código genético de uma grande família de objetos. A geração da forma é derivada desse código genético interno que substitui a interação tradicional com a própria forma. No modelo evolutivo de projeto, a forma emergente é considerada como sendo resultado de um processo evolutivo.

Os principais problemas de usar algoritmos genéticos no projeto são definir um conjunto de regras generativas e definir sua evolução e desenvolvimento de modo que eles possam ser mapeados para um contexto específico. Um grande número de etapas evolucionárias pode ser gerado em um curto espaço de tempo, e as formas que emergem são frequentemente inesperadas.

¹⁰ Os componentes básicos da gramática das formas são *shapes* como pontos, linhas, planos e volumes; é a descrição de formas espaciais. “Regras da forma” (*shape rules*) são operações (rotação, translação, escala, reflexão) e transformações espaciais (adição e subtração). Conjuntos de regras formais são aplicados passo a passo (*step-by-step*) para gerar um conjunto de projetos. Ela tem sido aplicada para gerar novos projetos ou para analisar projetos existentes.

¹¹ George Stiny, teórico de projeto e de computação, integrou-se ao Departamento de Arquitetura da UCLA em 1996. Graduou-se no MIT, na UCLA, onde recebeu PhD em engenharia. Sua contribuição particular ao campo foi a invenção e refinamento da ideia da gramática da forma, e seu trabalho se mantém como uma crítica à grande maioria dos programas gráficos de projeto existentes.

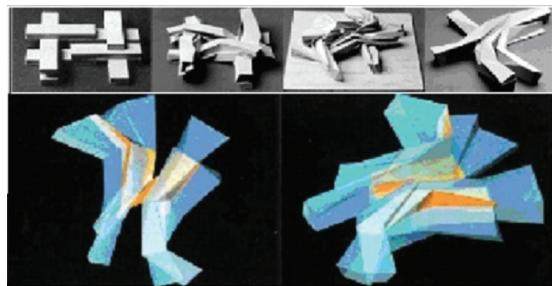


Figura 10. Peter Eisenman. BFL Software Limited, Bangalore, Índia (1996).

Figure 10. Peter Eisenman. BFL Software Limited, Bangalore, India (1996).

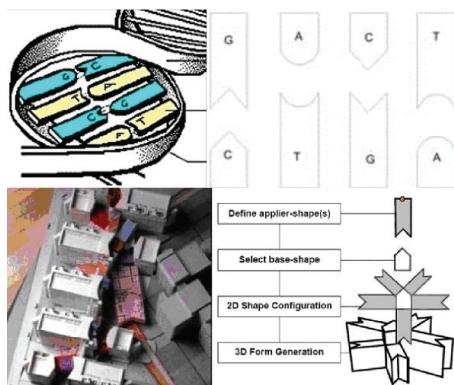


Figura 11. Peter Eisenman. Biocentrum, Frankfurt (1996). Eisenman usou quatro formas distintas para os quatro blocos do projeto, representadas pela manipulação da representação do DNA humano.

Figure 11. Eisenman used a different shape for the fourth quarter block the project, represented by the manipulation of the representation of human DNA.

Entre a concepção do projeto e a construção: o “objeto” como modelo digital. Processos generativos. Sistemas Interativos

Entre as técnicas e métodos utilizados no processo de projeto de arquiteturas contemporâneas, três terminologias estão entrando também com força como ferramentas de controle na geração da forma, porém com conceitos e características diferentes das técnicas de animação descritas anteriormente.

Essas terminologias utilizadas como ferramentas digitais são o Modelo Paramétrico (Parametric Model – PM), o Modelo de Informação da Construção (Building Information Modeling – BIM) e a Fabricação Digital. Nem o Modelo Paramétrico, nem o sistema BIM são métodos totalmente novos. Gehry e outros arquitetos os vêm utilizando há mais de uma década; a SOM (Skidmore

Owings & Merrill) e a Hoffman Bosworth têm utilizado um formato mais rudimentar de BIM por mais de 25 anos.

Embora, em alguns momentos, se interliguem durante a concepção e produção da arquitetura, são tecnologias com características diferenciadas. O Sistema BIM pressupõe Modelo Paramétrico em sua funcionalidade, porém nem todo Modelo Paramétrico pressupõe a tecnologia BIM.

Os sistemas BIM abrangem um conjunto de programas e aplicações computacionais, que incluem sistemas e subsistemas de análise, de estrutura, mecânicos, de automação e controle da construção, de gestão, entre outros. Todos esses programas já existiam, alguns desde as décadas de 1960 e 1970; a diferença é que, depois da programação orientada ao objeto e da geometria topológica computadorizada, eles puderam ser integrados a um modelo digital 3D.

O BIM é um sistema preparado para construção (CAD/CAM) através da fabricação digital (CAD/CAM/CNC); no entanto, nem sempre isso acontece. É possível fabricar elementos através da prototipagem rápida sem necessariamente o objeto ter sido projetado através da tecnologia BIM.

Embora sejam associados a questões de alta *performance* e produtividade durante a elaboração do projeto, pode-se dizer que o Projeto Paramétrico tem uma ação forte na geração da forma; por outro lado, o sistema BIM possui vínculo com as técnicas de Prototipagem Rápida, propiciando a Fabricação Digital dos componentes.

Observa-se atualmente a tendência de englobar todas essas tecnologias através de sistemas integradores de aplicações e programas computacionais, e, pelas suas características, elas afetam profundamente a concepção e a produção da arquitetura.

Esta abordagem conduz à produção de uma arquitetura em que concepção e construção interagem desde o processo de idealização até a conclusão da obra, e, depois de finalizada, ela pode ser avaliada na etapa conhecida como APO (Avaliação Pós-Ocupação).

O Projeto Paramétrico atua diretamente nas duas primeiras etapas: de projeto e planejamento da execução da obra, passando a ser inserido indiretamente na etapa da construção através dos parâmetros nos programas de BIM. As informações armazenadas na base de dados do Sistema ainda podem contribuir para a “vida” e manutenção da edificação.

O projeto paramétrico está intrinsecamente vinculado ao desenvolvimento da tecnologia BIM; esta, por sua vez, organiza a informação em um ou mais bancos de dados; o projetista não desenha diretamente, mas entra com informações de diferentes formas e em diferentes bancos de dados, e, à medida que as entidades são desenhadas, um conjunto de propriedades está sendo gerada no banco de dados.

O princípio é semelhante aos programas GIS (SIG – Sistema de Informações Geográficas), onde a entidade

gráfica é a chave (Key) em que são linkadas todas as informações de diferentes naturezas, através de planilhas, tabelas, gráficos e textos. Qualquer input alfanumérico afeta o modelo gráfico e todas as informações; reciprocamente, qualquer alteração no modelo gráfico altera os dados descritivos. O modo como se organizam todos os dados gráficos e descritivos deve ser estabelecido *a priori* pelo projetista, e a estratégia adotada nesta organização caracteriza o “poder” do programa. O modelo é composto por “objetos” digitais cujas propriedades são descritas como elementos físicos da construção; a construção do modelo corresponde à construção, parte por parte, da edificação (ou área urbana e paisagística), transformando-se na representação virtual da construção real (física) da edificação. Isto obriga o projetista a pensar desde o início em todo o processo construtivo, criando um forte vínculo entre o projeto e a construção. Uma prática que nem sempre é usual no processo de concepção do projeto, pois obriga que todos os conflitos espaciais e os problemas construtivos sejam resolvidos antes de surgirem com o desenvolvimento do projeto. Esta forma de pensar o projeto exige que o projetista saiba associar informação não visual com o objeto, pois, para facilitar a manipulação dos documentos gerados, cada desenho, vista 3D, tabela ou planilha é gerado sob o mesmo formato de dados.

O armazenamento centralizado da informação vai acontecendo enquanto o projeto se desenvolve, e ela poderá ser usada em qualquer fase do projeto mais adiante. Isto facilita em que não se percam informações e na colaboração entre as diferentes equipes de profissionais que participam do processo de projeto. O modelo, ao incluir informações geradas pelo arquiteto, engenheiros, consultores, fabricantes, contratantes e outros, permite deixar as informações disponíveis a todos e que estes possam acompanhar o trabalho dos outros e resolver os conflitos durante o processo.

O projeto paramétrico estabelece a descrição algorítmica da geometria, utilizando modelos paramétricos durante o processo de projeto. Os arquitetos podem construir modelos matemáticos e gerar procedimentos que

são condicionados por numerosas variáveis. Nos programas que possuem esta capacidade, o input declarado é o parâmetro de um projeto, e não sua forma (*shape*). Dessa forma, estabelecem-se interdependências entre objetos e a definição de comportamentos destes objetos durante as transformações formais. Um dos exemplos paradigmáticos conhecidos é o estudo de Marcos Novak, em 1998, para uma Arquitetura Paramétrica – Paracube (Figura 12).

Neste projeto, um cuboide foi definido por seis superfícies paramétricas; cada qual com seu próprio sistema de coordenadas. O cubo comporta-se como um cubo topológico; ele foi programado para criar duas configurações diferentes: a da estrutura e a da pele de revestimento. A estrutura foi matematicamente submetida a uma extrusão na quarta dimensão, de maneira que pontos se tornaram linhas, linhas se tornaram polígonos, polígonos se tornaram cubos, e cubos se tornaram hipercubos.

Usando uma matriz de transformação, o objeto tetradiimensional resultante foi rotacionado em torno de um plano tetradiimensional. Ao projetar o objeto transformado de volta ao espaço tridimensional, este se torna uma estrutura de dimensões variáveis. A pele de revestimento não foi deslocada para uma quarta dimensão, mas remapeada para criar uma superfície não homogênea. Isto quer dizer que o cuboide foi manipulado para criar formas, como um quadro estrutural e uma pele suave. As equações paramétricas que regem cada superfície foram compostas de modo que uma variação em uma superfície causaria reações em superfícies adjacentes.

Outro exemplo de projeto paramétrico é o “New London City Hall” de Norman Foster e associados de 2002. A fonte de inspiração original para este projeto foi o formato de uma pedra, e a radiação solar foi usada como referência de parâmetro ambiental no desenvolvimento da geometria e das soluções da casca.

A operação computacional que deu início ao processo de concepção foi a escolha do modelo digital de uma esfera, porque sua superfície é menor do que a de outros sólidos com o mesmo volume. Foi estudada a interação entre o modelo digital e a incidência da luz solar; sua apa-



Figura 12. Marcos Novak. Paracube Parametric Architecture (1997-1998).
Figure 12. Marcos Novak. Paracube Parametric Architecture (1997-1998)

rência foi sendo modificada buscando a eficiência através da modificação dos pontos de controle de sua superfície até obter a forma ótima para o desempenho energético, conforme pode ser visto na Figura 13.

O projeto de Foster para um edifício de escritórios, “Swiss-Re Tower”, Londres, de 2004, também é um exemplo de uma modelagem através de projeto paramétrico. Ele tomou como referência inicial o layout otimizado para torre de escritórios de uma planta circular com a centralização do sistema de circulação vertical, instalações, (escadas, elevadores, sanitários) e a distribuição periférica das áreas de trabalho. Esta opção de distribuição e organização espacial é considerada como referência de otimização funcional no mercado de edifícios de escritórios.

A partir da extrusão desta planta-tipo, parametrizando a estrutura e a ação de variações climáticas, ele procurou, através de simulações, otimizar as relações entre a forma envolvente do edifício e as informações de clima e estrutura. Nesse caso, pode-se deduzir um projeto onde a concepção formal emerge da aplicação de critérios de desempenho estrutural e ambiental. A forma aerodinâmica, não usual, do edifício é o resultado da investigação em

torno de um gradual incremento na curvatura, calculada por meio de um modelo paramétrico (Figura 14).

Segundo David R. Scheer, da Universidade de Utah, a seção cônica arredondada torna possível controlar os fluxos de ar em torno do edifício e, assim, reduzir a quantidade de pressão do ar ao nível do quarteirão, enquanto o formato espiral do aço garante maior eficiência energética e intensidade de iluminação (Scheer, 2005).

A possibilidade de flexibilização do projeto, a partir da geração de formas, permite alterações a cada etapa do processo projetual de maneira interdependente, pois os outros parâmetros serão instantaneamente recalculados e rearranjados pelo software de acordo com a interação entre eles. É uma ferramenta utilizada atualmente, principalmente na pesquisa de soluções estruturais não estandardizadas. A rapidez das alterações permite que a produção em massa tenha como produto final projetos similares, não idênticos, mas relacionados como membros de um mesmo sistema.

A busca de sistematização, padronização, construção em série da arquitetura moderna para resolver problemas de habitação e a crítica negativa justamente às

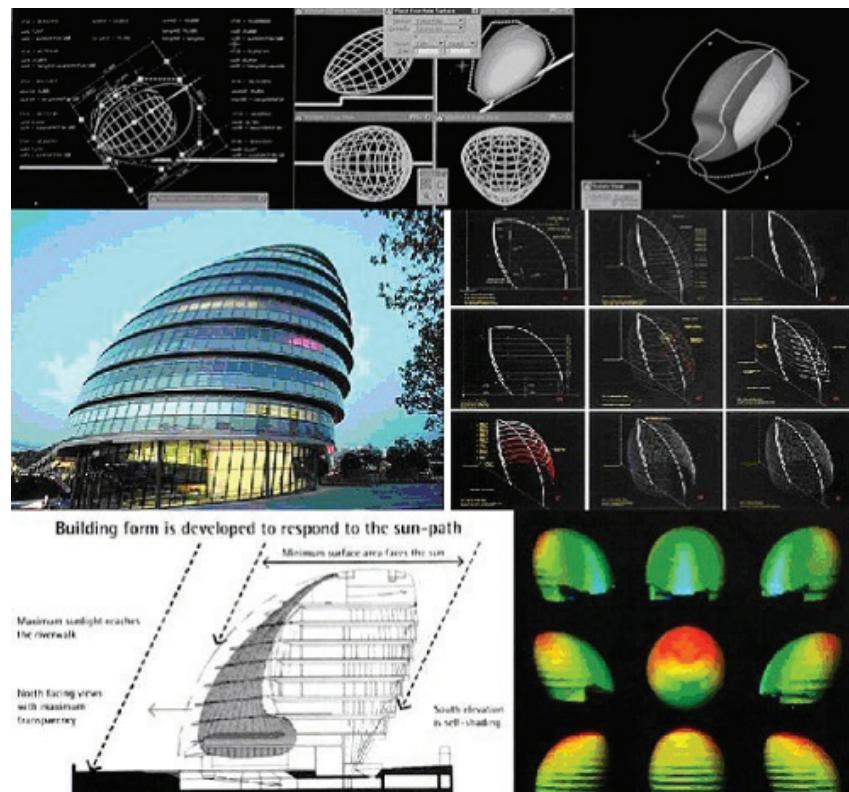


Figura 13. Foster and partners. City Hall, Londres (2002). Modelo paramétrico. Nove fases de criação do modelo. Estudos da incidência solar.

Figure 13. Foster and partners. City Hall, London (2002). Parametric model. Nine steps of model generation. Studies of solar irradiation.

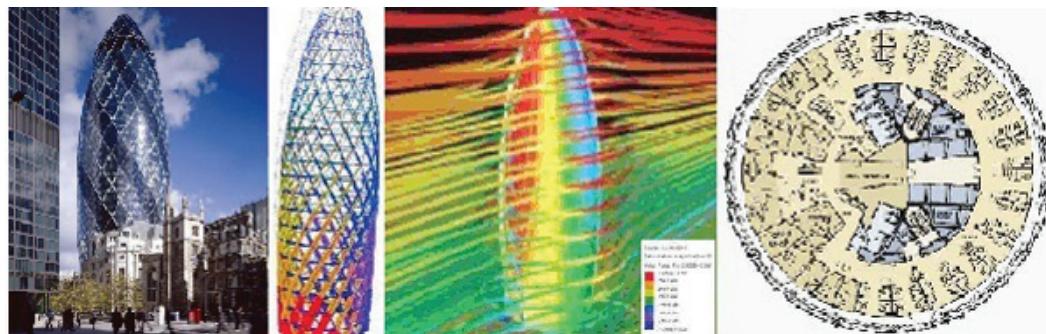


Figura 14. Foster and partners. Swiss-Re Tower, Londres (2004). Edifício construído. A forma aerodinâmica determinada pela análise de forças e análise de vento.

Figure 14. Foster and partners. Swiss-Re Tower, London (2004). Edifice built. The aerodynamic shape determined by analysis forces and analysis of wind.

consequências do uso destes princípios nas soluções arquitetônicas e urbanas poderiam ser um campo de investigação que ampliasse alternativas de projeto e de custo das obras.

Atualmente, o projeto paramétrico é amplamente utilizado em projetos de engenharia onde a configuração formal (*shape*) desempenha um papel importante no projeto estrutural, mecânico e térmico. Possibilita ao arquiteto gerar opções e alternativas, interagindo com o projeto em tempo real. A principal característica desse método é que a forma é gerada, e não desenhada; é procurada de acordo com a necessidade do projeto e não preconcebida e adaptada. Como exemplo destas propostas em processos generativos, pode ser incluído, também, o projeto de Rem Koolhas (OMA) para a Biblioteca Pública de Seattle (dezembro de 1999) e Vision Machine, em Nantes 1999/2000 do escritório NOX (Figuras 15, 16 e 17).

A utilização destes programas criou práticas pedagógicas em ateliês de projetos nos Estados Unidos em que os procedimentos são organizados em torno das regras e métodos estabelecidos pelos programas de tecnologia BIM. É o caso, por exemplo, da *Texas A&M University*, a *Ball State University*, de Antonieta Angulo e Guillermo Vásquez de Velasco, e o *College of Architecture + Planning* da *University of Utah* de David R. Scheer, onde estas tecnologias são utilizadas em ateliês virtuais de projeto multidisciplinar e ateliês de fabricação digital que utilizam o software BIM como ferramenta pedagógica para a integração entre as disciplinas e a articulação curricular (Angulo e Vásquez de Velasco, 2007)

Este é um dos exemplos mais expressivos de um ensino de projeto regrado por um sistema de softwares que carregam consigo uma ideologia da teoria e do ofício do arquiteto.

Segundo David R. Scheer, da Universidade de Utah, a simplificação das tarefas do projetista que a parametrização permite abre espaço para a liberdade criativa.

Ele (o projetista) não precisa procurar em uma vasta biblioteca de elementos para encontrar algum que queira. Em vez disso, pode fazer o que quiser, a partir de um objeto paramétrico flexível, introduzi-lo como objeto em um sistema BIM. Regras complexas podem ser escritas, criando relações incorporadas ao objeto ou projeto automatizando parte do processo projetual. O software sempre necessitará de customização. Idealmente possibilita aos arquitetos customizar o projeto, seu próprio objeto e ferramentas (Scheer, 2005, p. 2).

Alguns produtos BIM, diz Scheer, já permitem isso; porém, para fazer uma utilização completa destas ferramentas, requer-se conhecimento em programação de computadores. Empresas que utilizam BIM já estão treinando programadores para customizar ferramentas, objetos e informações construtivas para fazer a integração com outras aplicações. Assim, a empresa de arquitetura do futuro necessitará especialistas com esse conhecimento para efetuar a comunicação do BIM com as ferramentas CAM. Os desenvolvedores necessitam fazer o sistema poder “conversar” com estas outras linguagens de programação.

O projetista deve ter o controle sobre o modelo digital, ver o produto de seu trabalho, não apenas como desenhos e especificá-los para a construção, mas como “informação”. Como um modelo de informação se torna central para o projeto, construção e operação nas edificações, Scheer (2005, p. 4, item b) faz a pergunta: “Quem possui e mantém este modelo? Arquitetos, construtores, consultores especializados?”

Para ele, o arquiteto deveria ser o candidato lógico a assumir esse papel. Entretanto, mudanças significativas acontecem ao assumir o gerenciamento do modelo digital. Mudanças estas, quanto à competência de assumir este papel, que requerem a combinação de arquiteto projetista com o gerenciamento de um banco de dados. Para realizar esta junção, o arquiteto deve assumir grande responsabilidade durante a construção.

Scheer (2005, p. 5, item b) continua seu questionamento: “Podemos nos convencer que o BIM nos induza a

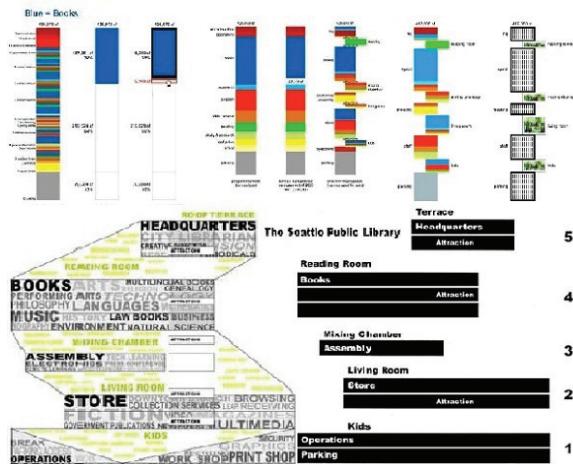


Figura 15. Rem Koolhas (OMA). Proposta para Biblioteca Pública de Seattle. (1999). Programa – plataformas-partido.
Figure 15. Rem Koolhas (OMA). Proposal for the Seattle Public Library. Program – platforms – architectural propositions.

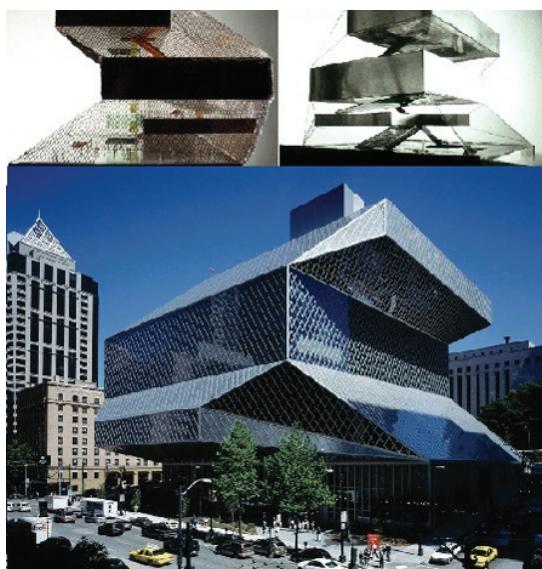


Figura 16. Rem Koolhas (OMA). Maquete física. Modelo Digital. Edifício construído.
Figure 16. Rem Koolhas (OMA). Physical model. Digital Model. Edifice built.

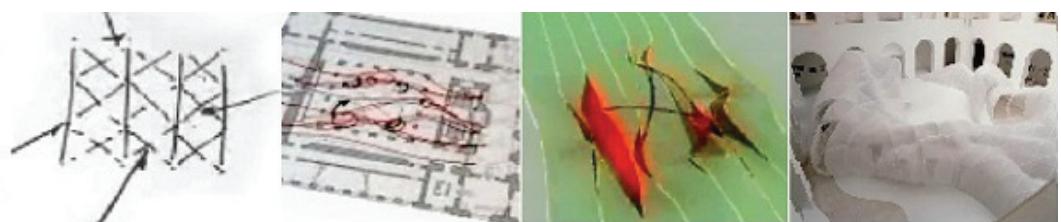


Figura 17. NOX. Visio machine. Nantes (1999/2000) Máquina vs Desenho. Interação de dados. Relação entre campos de força e curva. Obra executada.

Figure 17. NOX. Visio machine. Nantes (1999/2000). Design vs. Machine. Data interaction. Relationship between force fields and curve. Built project.

assumir essa responsabilidade adicional? Como podemos nós mesmos ser persuadidos a sermos proprietários de um modelo digital de informações?"

Scheer, repensando o processo de projeto, alerta para o fato de que as etapas tradicionais de um projeto não fazem mais sentido em um modelo digital desenvolvido dentro de uma tecnologia BIM. Devido à estratégia de armazenar informações em um banco de dados, BIM permite que o trabalho no projeto possa ser distribuído de diferentes modos. Primeiro, toda informação que entra (input) no modelo permanece até ser modificada ou deletada. A informação é continuamente adicionada ao modelo, que evolui continuamente de um modelo esquemático para um modelo de documentação da construção. Não existe uma transição demarcada, tal como é do desenvolvimento para a documentação construtiva. A informação neste modelo é mais facilmente manipulada, modificada e atualizada do que em arquivos de CAD e pode ser visualizada e apresentada de diferentes maneiras para diferentes proposições. Um programa de dados, por exemplo, poderia gerar diretamente volumes que se tornariam o início do projeto. Um projeto que inicia diretamente como construção é um *continuum* de informação adicionada ao modelo. Algumas partes do projeto podem ser bem detalhadas enquanto outras podem ficar em um nível mais esquemático.

Este método de projeto afeta a divisão tradicional entre projeto e produção. Esta divisão é fortalecida pelo fato de que os instrumentos que os projetistas usam (desenhos à mão, softwares de visualização) são diferentes dos utilizados para fazer os documentos para a construção (CAD, processadores de texto). O BIM potencialmente utiliza a mesma ferramenta em todas as fases do processo.

O modelo é uma simulação usada para avaliar sistemas físicos e comportamentais. Esta verificação, quanto mais automatiza os processos, mais necessita resultados precisos. Um projeto baseado em um modelo de informações centralizadas facilita a colaboração entre membros de equipes e demanda uma redefinição do tradicional papel do projetista e construtor. Ao exigir uma especialização diferenciada do projetista, afeta a formação do arquiteto. Scheer refere-se ao ensino nos cursos de arquitetura, salientando que "as novas escolas não produzirão mais cadistas, mas terão que ter um grande conhecimento em construção para operar com BIM" (Scheer, 2005, p.6, item f).

Podemos deduzir que, assim como o "cadismo" acentuou problemas já existentes no ensino de projeto e ocasionou novos, principalmente durante os primórdios, uma afirmação como a de Scheer deverá ser questionada e analisada antes de ser adotada ou generalizada.

Considerações finais

O desejo do arquiteto de otimizar e sistematizar as informações tornando mais transparente o processo de

projeto, assim como poder construir formas irregulares concebidas pela sua mente é anterior ao desenvolvimento científico e tecnológico da era digital. No entanto, com as possibilidades propiciadas pelos programas computacionais de interferir ativamente na formalização da arquitetura, muitas vezes sem a ação direta do projetista na configuração da forma final, novas questões precisam ser pensadas pela crítica arquitetônica.

É necessário situar o fenômeno, não apenas no contexto digital, mas localizá-lo geograficamente, isto é, de onde provêm as arquiteturas que alimentam o contexto nacional. Os exemplos apresentados neste texto são de países que detêm também a produção dos sistemas, ferramentas e programas computacionais. Os exemplos acima, em alguns casos, são de natureza experimental, como o caso de Marcos Novak, ou voltados à aplicação em uma arquitetura corporativa, como é o caso de Norman Foster. Embora a simulação de modelos, buscando um alto grau de desempenho energético, pertença a aplicações antigas no âmbito da construção, uma aplicação, como no caso de Foster, tem alto custo operacional, tanto do ponto de vista dos programas e programadores especializados, como na execução da obra.

No início da década de 1990, conceitos como "efeitos", "movimento", "espaço" e "forma", cotejados com as operações computacionais, geravam um cenário de fundo que permitia pensar a tecnologia digital dentro de um quadro referencial da arquitetura. Atualmente, parece necessário o desenvolvimento de uma nova teoria do projeto, no entanto sem relegar ao esquecimento pensamentos arquitetônicos que são a base da maior parte das arquiteturas ainda projetadas na cidade e que dão consistência ao pensamento arquitetônico.

As técnicas computacionais foram introduzidas na arquitetura para gerar a forma através de duas vertentes; a manipulação formal como *shape* possível a partir de procedimentos que atuam na geometria da arquitetura pelo lado das possibilidades de gerar complexidade formal; e por outro lado, a geração da forma através de inputs de informações que fazem parte do aporte programático da arquitetura, como funções, atividades, usos, fluxos, pessoas, sítio e contexto, fluxos de pessoas, comportamento, construção e toda a informação que faz parte de um programa de arquitetura. São inputs codificados e manipulados pelos programas computacionais para gerar alternativas de outputs geradores da forma arquitetônica.

Na geração destas arquiteturas, as partes tradicionais compositivas dos elementos de arquitetura, facilmente identificáveis e legíveis, cedem lugar a uma arquitetura objetual, em que a fusão e a contradição entre os múltiplos sistemas não podem ser sintetizados dentro de um único sistema unificado e harmônico. A contradição existente em um crescimento orgânico, assimétrico de formas complexas, fracionárias e amorfas faz com que a interação entre formas tenha um alto grau de informação na maneira como

seus componentes se diferenciam. Estas geometrias Fractais, topológicas e dinâmicas, cuja descrição geométrica vetorial gera um aparente desequilíbrio, produzem uma arquitetura onde transparecem dois componentes; o envoltório como uma “pele” e a estrutura de sustentação que se esconde para que estas múltiplas peles, como máscaras, se comuniquem com o mundo. Trata-se de uma pele que unifica fachada e cobertura recobrindo toda a edificação. Os programas e técnicas de prototipagem e fabricação digital e a exploração de novos materiais possibilitam a concepção e execução destas arquiteturas.

Na abordagem dos processos generativos, a formação do arquiteto poderá abranger novas atribuições e conhecimentos, transformando-o em um *toolmaker* (construtor de ferramentas), não somente como operador de programas computacionais, mas como programador cujas informações programadas fazem parte do programa de arquitetura, estruturado em banco de dados descritivo e gráfico. O desenvolvimento de algoritmos geométricos e relacionamentos topológicos através da geometria computacional permitem que as informações geradas na estruturação do banco de dados sejam a própria amálgama do modelo 3D. O programa computacional e o programa de arquitetura pertencem ao mesmo modelo imaterial processado na memória do computador.

No caso do BIM, a tectônica prevalece, os dados construtivos são prioritários. O Programa codificado no computador é um objeto integrando a concepção e a construção, como uma “arquitetura possível”.

A pergunta que se faz, e que irá exigir um debate contínuo por anos com o uso destas tecnologias, é de que modo elas podem influenciar a ideia inicial de projeto, e se seu uso está determinando o surgimento de uma nova linguagem arquitetônica.

Certamente hoje a ciência da computação está presente em cada atividade humana e muito no projeto de arquitetura. Neste campo, a redução de tempo e custo que as ferramentas de informação e os programas computacionais permitem no planejamento e realização de um trabalho arquitetônico em relação ao modo tradicional de projeto é um benefício óbvio; suas vantagens são tangíveis. No entanto, parece importante refletir sobre o “abuso” que pode ocorrer, se as tecnologias não forem utilizadas com “consciência crítica”.

Alguns projetistas, seduzidos com a velocidade e o poder de elaboração que os programas computacionais propiciam na representação e manipulação de formas tridimensionais complexas, têm abandonado “a si próprios” em favor de concepções arquitetônicas oníricas, às vezes formas digitais quase visionárias, às vezes se apropriando das novas geometrias da matemática (Oxman, 2005).

Para Rivka Oxman, grande parte desses trabalhos não foi realizada, ou não é plausível de execução, porque está fora das regras funcionais e de construir; consequentemente, fora da prática de realização arquitetônica:

[...] pensamos que algumas dessas formas foram concebidas em meados dos anos noventa. Portanto, após mais de uma década, a sociedade estaria pronta para receber uma sobrecarga de expressiva inovação. Provavelmente a impossibilidade, de contexto ou de execução, seja de ver construídas essas arquiteturas projetadas, que permanecem somente no papel ou na tela, no lugar de sua representação efêmera na verdade virtual (Oxman, 2005, p. 261).

As tecnologias da informação e da comunicação representam um grande ganho para o projetista, e por isso, têm que ser pensadas e utilizadas em benefício da arquitetura. O arquiteto, projetista, inventor permanece o mesmo. É ele que estabelece as regras, para disparar ou desativar processos informativos generativos de novas formas. O próprio projetista é, sempre, quem escolhe o formato final entre alternativas propostas pelo software no dinâmico processo evolucionário. O Programa propõe e (ao mesmo tempo) responde às regras e ordens do projetista. No entanto, a complexidade dos diferentes sistemas digitais e sua interação com a forma durante o processo de projeto podem resultar em arquiteturas onde o sujeito seja excluído da fruição espacial.

Certamente há arquiteturas nas quais é possível ver que o uso das ferramentas informáticas tem permitido ao projetista obter resultados apreciáveis do ponto de vista formal, como do desempenho energético, ambiental e de comportamento estrutural.

Mas, em muitos casos, podemos ver que o projetista perdeu seu papel original ou função original. Foi envolvido por uma ação projetual sem crítica, sobre as possibilidades dos programas computacionais, adotando simplesmente o aspecto da diversidade formal, consolidando formas expressivas somente pelo simples fato de usar meios inovadores.

A questão pertinente é a seguinte: qual o papel do projetista em todas as injunções e operações que implicam um projeto gerado no meio digital? Como enfocar no ensino de projeto as mudanças que ocorrerão na prática pedagógica, onde os processos paramétricos, os programas de BIM, os programas gráficos vetoriais para gerar formas complexas e os dispositivos de prototipagem rápida já estão começando a fazer parte do ateliê de projeto? Pressupondo que experimentação = conhecimento, uma questão nos parece essencial: todos estes sistemas, programas e processos precisam estar presentes no ateliê de projeto, para, no sentido exploratório e experimental, propiciar a reflexão e o diálogo, com as novas gerações de estudantes sobre processos, métodos e teoria como meio de qualificar o projeto e a função social da arquitetura na era digital.

Referências

- ANGULO, A.; VÁSQUEZ DE VELASCO, G. 2007. Digitally integrated practices: a new paradigm in the teaching of digital media in architecture. *Arquiteturarevista*, 3(2):1-14.
- DELEUZE, G. 1991. *A dobrá: Leibniz e o barroco*. Campinas, Ed. Papirus, 212 p.

- DERRIDA, J. 1993. Desconstruir la actualidad. Entrevista com Jaques Derrida. *Passagens*, 57:60-75.
- DUARTE, J. P. 2001. A discursive grammar for customizing mass housing: the case of Siza's houses at Malagueira. Artigo publicado em *Automation in Construction*, 14, no. 2, (2005): 265-275
- EISENMAN, P. 1993. Visões que se desdobram: a arquitetura na época da mídia eletrônica. *Oculum*, 3:14-21.
- FLORIO, W. 2005. *O uso de ferramentas de modelagem vetorial na concepção de uma arquitetura de formas complexas*. São Paulo, SP. Tese de doutorado. FAAUSP, 472 p.
- FLUSSER, V. 2007. *O Mundo Codificado: por uma filosofia do design e da comunicação*. São Paulo, Cosac Naify, 224 p.
- FRAMPTON, K. 1993. *História critica de la arquitectura moderna*. 6^a ed., Barcelona, Editorial Gustavo Gili, 376 p.
- GUATTARI, F. 1995. On Machines. *Journal of Philosophy and the Visual Art*, 6:8-12.
- JENCKS, C. 1997. *The architecture of the jumping universe: A polemic: How complexity science is changing architecture and culture*. London, Academy Press, 176p.
- LE CORBUSIER. 1989. *Por uma arquitetura*. 4^a ed., São Paulo, Ed. Perspectiva, 205 p.
- LYNN, G. 1998. *Folds, bodies & blobs*. Bruxelles, Ed. La Lettre Volée, 236 p.
- LUCENA, A. 2002. *Arte da animação: técnica e estética através da história*. São Paulo, SENAC, 456 p.
- MITCHELL, W.J. 2008. *A lógica da arquitetura: projeto, computação e organização*. Campinas, UNICAMP, 293 p.
- OXMAN, R. 2005. Theory and design in the first digital age. *Design Studies*, 27(3):229-265.
- OXMAN, R.; LIU, T. (eds.). 2004. Cognitive and computational models in digital design: A workshop of DCC04. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COGNITION AND COMPUTATION IN DESIGN, I, Cambridge, 2004. *Anais...* Cambridge, p. 1-80
- ROCHA, I.A.M. 1998. *Os programas de computador e o processo de projeto na construção do conhecimento arquitetônico: analogia entre operadores computacionais e projetuais*. Porto Alegre, RS. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 342 p.
- ROCHA, I.A.M. 2009. *Programa e projeto na era digital: O ensino de projeto de arquitetura em ambientes virtuais interativos*. Porto Alegre, RS. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 339 p.
- SCHEER, D.R. 2005. Building information modeling: What about architecture? In: <http://72.14.209.104/search?q=cache:2RAHyxJzWYUJ:faculty.arch.utah.edu/bim/Website%2520Info/Articles/BIM%2520What%2520About%2520Architecture.doc+Building+Information+Modeling:+What+About+Architecture%3F&hl=en&ct=clnk&cd=1&gl=us> acessado em 15 de agosto de 2007.
- SCHUH, F.; MARTINS, L.; MANSSOUR, I. 2009. SIKS – Simple Inverse Kinematics System. Porto Alegre, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Informática. Disponível em: <http://www.inf.pucrs.br/~manssour/Publicacoes/SIKS.pdf>. Acessado em: 12/08/2009.
- SERRIANO, P. 2003. Form follows software. In: ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION FOR COMPUTER AIDED DESIGN, Indianapolis, 2003. *Anais...* Indianapolis, p. 185-205.
- SPUYBROEK, L. 2004. *NOX machining architecture*. London, Thames and Hudson, 389 p.
- TSCHUMI, B. 1999 [1982]. The Manhattan transcripts. In: P. HEREU; J. MARIA MONTANER; J. OLIVERAS *Textos de Arquitectura de la Modernidad*. 2^a ed., Madrid, Ed. Nerea, p. 478-485.

Submetido em: 10/09/2011
Aceito em: 25/09/2011