

## ARQUITETURA DIGITAL E AS SINTAXES DAS GEOMETRIAS COMPUTACIONAIS

ARQUITECTURA DIGITAL Y LA SINTAXIS DE LA GEOMETRÍA COMPUTACIONAL

DIGITAL ARCHITECTURE AND SINTAX OF COMPUTATIONAL GEOMETRY

Eixo 01 - procedimentos projetuais inovadores

**Fábio Lima**

Doutorando em Arquitetura e Urbanismo pela FAU/UNB

Mestre em Cultura Visual pela FAV/UFG

**Resumo:** A partir de experiências entre os âmbitos da linguagem geométrica computacional e a de representação da arquitetura, novas possibilidades de gênese tectônica foram sendo criadas. Na hibridização ocorrida entre as linguagens digitais com outros âmbitos da arte, do design e das diversas mídias visuais que trafegam pelas vias comunicacionais, os vários limites entre essas áreas parecem romper e influências de toda espécie acontecem. Assim, o desenvolvimento de complexas formas não-euclidianas fez alavancar os processos da arquitetura digital, em princípios de criação e manipulação infinitos. Como modo de compreender todas as possíveis propriedades dessas diversas "matérias digitais", procura-se elaborar um estudo sobre as principais sintaxes encontradas na produção dos modelos arquitetônicos virtuais, tornando claras suas características e finalidades, bem como um conhecimento aprofundado dessas unidades.

**Palavras-chave:** arquitetura digital, sintaxe, morfogênese digital, geometria computacional.

**Resumen:** A partir de experiencias entre los campos del lenguaje geométrico computacional y la representación arquitectónica se crearon nuevas posibilidades de génesis tectónica. La hibridación se llevó a cabo en unos lenguajes digitales con otros campos del arte, del diseño y de diversos medios visuales que viajan en forma de comunicación, los diferentes límites entre estas áreas parecen romperse y las influencias de todo tipo pasan. Por lo tanto, el desarrollo de formas no euclidianas complejas hizo para aprovechar los procesos de arquitectura digital, los principios de la creación y manipulación infinita. Como una forma de entender todas las propiedades posibles de estas diversas "digital en bruto", pretende realizar un estudio sobre la sintaxis principal que se encuentra en la producción de los modelos arquitectónicos virtuales, haciendo claras sus características y propósitos, así como un conocimiento profundo de estas unidades.

**Palabras-clave:** arquitectura digital, sintaxis, la morfogénesis digital, geometría computacional

**Abstract:** From experiences among fields of computational geometric language and the representation of the architecture, tectonic genesis of new possibilities were created. Hybridization took place in a digital languages with other fields of art, design and various visual mediums that travel by way communication, the various boundaries between these areas seem to break and influences of all kinds occur. Thus, the development of complex forms did not Euclidean leverage processes of digital architecture, principles of creating and manipulating infinite. As a way of understanding all possible properties of these various "digitals materials ", seeks to conduct a study on the main syntax found in the production of virtual architectural models, making clear their characteristics and purposes, as well as a thorough knowledge of these units.

**Keywords:** digital architecture, syntax, digital morphogenesis, computational geometry.

## **ARQUITETURA DIGITAL E AS SINTAXES DAS GEOMETRIAS COMPUTACIONAIS**

Os arquitetos desenham aquilo que conseguem construir,  
e constroem aquilo que conseguem desenhar.  
William Mitchell

As tecnologias informáticas ampliaram enormemente o campo de estratégias de projeto nas suas mais diversas possibilidades de consecução arquitetônica. As formas espaciais geridas virtualmente, desde o início da computação gráfica (na capacidade de converter expressões lógicas e abstratas para objetos visíveis) sempre foram desafiadoras, no sentido de criá-las e explorá-las. Na medida em que novas características foram implantadas e tornaram-se mais e mais complexas, diversos aspectos da criação e do raciocínio espacial foram surgindo, situações essas de particular interesse à arquitetura.

Muitos arquitetos passam a se utilizar de complexos algoritmos capazes de conduzir a morfogêneses extremas, para além das visualidades do nosso âmbito reconhecido. Ao ser capaz de receber nas instruções de cálculo, todos os limites de adequação (elementos cujas variações de valores atendem à solução de um problema sem alterar-lhes a natureza), a máquina trata a arquitetura como um objeto computacionalmente descrito e primariamente estruturado. A partir das linhas de comando e dos dados que servem de subsídio inicial (enumerados conforme os diversos aspectos em conflito), o computador pode acelerar enormemente o raciocínio do arquiteto, apresentando inclusive um rol de permutações possíveis e todas capazes de atingir igualmente as necessidades daquela demanda.

Além de ampliarem as possibilidades de projeto, as máquinas também agregam um vigoroso acervo de formas inusitadas, por meio dos cálculos matemáticos de alta complexidade. Essas formas, evidentemente, causarão novas implicações cognitivas e psicológicas, porque não fazem parte propriamente de um repertório conhecido, e podem causar estranhamentos, surpresas, emoções, tal qual a arquitetura vista ainda no contexto das grandes

artes pode estimular. A partir dessa especificidade computacional, as resultantes arquitetônicas são mediadoras de outras intensidades que as formas podem ocasionar, em propostas com novos vigos, em trabalhos verdadeiramente inaugurais capazes de extrair o máximo das potencialidades significantes desses novos meios, mesmo ainda simulando aspectos das limitações e fisicidades determinadas pelos usos dos materiais.

Esses modelos são fortemente ampliados nos seus níveis de complexidade com os recursos da máquina, no entanto há uma perseguição pelo colapso das formas, ao renunciar as aparências do âmbito comum e buscar as experiências com versões exageradas ou distorcidas, criando metáforas visuais para um novo mundo. “O novo é o que escapa à representação do mundo [...] como cópia [...] significa a emergência da imaginação no mundo da razão, [...] num mundo que se liberou dos modelos disciplinares da verdade” (PARENTE, 1993, p.19). De tal modo que certas características primárias da arquitetura vêm sendo alteradas, a partir da introdução da linguagem digital que proporciona o desmantelamento entre partes de suas fronteiras com outros âmbitos de conhecimento do nosso mundo circundante (particularmente as artes, a informática, o design; assim como todas as demais mídias visuais que trafegam pelas vias comunicacionais).

No contexto dessa sintaxe computacional, assim como ocorre nos meios analógicos, temos primitivas básicas tais como o ponto, a reta, o plano, o polígono, o sólido, etc. Mas, por outro lado, o quê as operações computacionais então alteram, já que esses elementos primários permanecem? Quais são as características fundamentais dessas novas construções geométricas e o quê elas trazem de novidade? Talvez a resposta mais imediata seja pensar que elas, partindo de operações simples desenvolvam resultados não-euclidianos. De fato, os cálculos computacionais são extremamente rápidos e processam em milésimos de segundo complexas fórmulas. Mas, como hipótese básica desse artigo, provavelmente o novo rol de expressões formais da arquitetura tenha junto à área da geometria computacional um grupo de variáveis com um alto poder evocativo para criação.

Assim, esse artigo tem por objetivo expor as principais questões dessa sintaxe localizada nos modelos digitais. Como um conjunto de operações empregadas na linguagem computacional, esta se vincula à linguagem de representação da arquitetura por meio de um âmbito digital em comum, permitindo operações simulativas nessa “matéria virtual” dos mais variados escopos: geometrias estas com impossíveis estados transformativos no mundo físico. Elas permitem criar, editar, compor, liquefazer, metamorfosear, desmaterializar, etc., numa manipulação que tem ação de resposta calculada em tempo real, podendo inclusive interagir de forma imprevista.

Diversos autores têm se debruçado sobre esse complexo quadro da arquitetura digital que vem sendo formado: (OXMAN, 2005, 2008), (KOLAREVIC, 2000, 2003, 2005), (ZELLNER, 1999), além propriamente das reflexões de alguns arquitetos (LYNN, 1993), (NOVAK, 2000) e (PERRELLA, 1998), cujas propostas, processuais e técnicas são abertas a diferentes experiências. Eles são consensuais em admitir que o espaço computacional permite ampliar as vertentes formais. Se na arquitetura digital temos outros processos, outros níveis de operações geométricas, como então entendê-las, para que a compreensão do objeto arquitetônico não se dê equivocada? Quais são as operações mais frequentes? Quais são as unidades elementares dessa sintaxe? A partir da identificação destas, capazes de representar uma nova força da gênese tectônica, bem como nas qualidades das organizações, é que podemos ter uma melhor aproximação com os demais atributos dessas propostas.

## DEFERÊNCIAS GERAIS DA SINTAXE

Entender uma sintaxe, de modo geral, é uma forma de compreender a constituição de certas unidades elementares que integram um todo, no âmbito de um determinado meio que lhes sustenta. No contexto das linguagens visuais, a sintaxe verifica a disposição dos elementos capazes de integrar e se inter-relacionar em suas unidades, segundo uma relação lógica, bem como estruturando hierarquias dessas unidades em suas múltiplas combinações possíveis. “A sintaxe só pode significar a disposição ordenada de partes,

deixando-nos com o problema de como abordar o processo de composição [...] de como as decisões compositivas irão afetar o resultado final” (DONDIS, 1997, p.29).

Sintaxe [do gr. σύνταξις "disposição", de σύν, transl. syn, "juntos", e τάξις, transl. táxis, "ordenação"]. [Do gr. *śyntaxis*, pelo lat. tard. *śyntaxe*.]

A sintaxe indica a função desempenhada por um elemento, sendo uma categoria que estuda os processos de como formar e combinar estes, tendo em vista caracterizar a sua estrutura interna e funcionamento.<sup>1</sup> Os elementos visuais (ou melhor, as partes constitutivas) são manipulados com uma ênfase na possibilidade de troca, em serem permutáveis. O estudo da sintaxe constitui a parte mais desenvolvida da semiótica<sup>2</sup>, onde se dão as relações dos elementos primários entre si, sendo formados e agrupados por meio de regras definidas (MORRIS, 1976)<sup>3</sup>.

Assim, há de se considerar as regras de formação capazes de determinar a construção de uma proposta e posteriormente, as regras de transformação. Ou seja, num primeiro momento, como são criados (a gênese da unidade) e depois como são agrupados ou transformados. Esses elementos pertencem a diversas classes e se combinam, formando outros elementos compostos. A sintaxe é um campo fundamentalmente descritivo. De acordo com (FIDALGO e GRADIM, 2005), outros aspectos relevantes a serem observados são:

a) nas relações dos elementos entre si e o todo, muitas vezes estes possuem uma informação ou referência que é diversa do todo. Surgem interferências consoantes uns aos outros e certos objetos sofrem mudanças capazes de lhes imprimirem outras propriedades;

---

<sup>1</sup> Com o passar dos anos o termo passou a ser usado igualmente para se referir ao estudo das regras que regem também os sistemas matemáticos, como a lógica e a linguagem de programação.

<sup>2</sup> A semiótica é um campo estratégico de pesquisa bastante amplo por conseguir incluir diversas áreas do conhecimento humano. É importante lembrar que seu fundador, Ferdinand de Saussure, concebe inicialmente a semiologia (termo criado por ele), como fundamentalmente campo das ciências sociais aplicadas (TRABANT, 1980), lugar da qual a arquitetura se põe em relevo.

<sup>3</sup> “Esse desenvolvimento começou o mais tardar com as ideias *leibnizianas da ars characteristic*, da ciência a que incumbiria formar os signos de modo a obter, através da mera consideração dos signos, todas as conseqüências das ideias correspondentes, e da *ars combinatoria*, do cálculo geral para determinar as combinações possíveis dos signos. Depois de Leibniz, muitos lógicos contribuíram para o progresso da estrutura lógico-gramatical da linguagem. Além dos já citados, [...] há ainda mencionar Boole, Peano, Russel e Whitehead” (FIDALGO, 1998, p.95). Grifos do autor.

b) a vinculação de um elemento se distingue de outro e do todo ao mesmo tempo, cumprindo uma finalidade;

c) dois elementos podem ter mesma natureza e constituírem funções diferentes e ou vice-versa;

d) as funções sintáticas residem em questões da própria linguagem, sendo independentes da capacidade combinatória dos usuários (MORRIS, 1976). Essa capacidade de coexistência e acordo pode ser estendida *ad infinitum*, num aspecto comparável às manifestações criativas que independentemente de qualquer contexto, não cessam jamais.

No apontamento desses elementos sintáticos, inevitavelmente há uma dimensão interpretativa (impossível que não haja, pois é necessário levar em consideração a figura daquele que interpreta), de modo que “toda percepção é também pensamento, todo o raciocínio é também intuição, toda a observação é também invenção” (ARNHEIM, 2002, p.11). Além disso, o “simples fato de designar unidades, de recortar a mensagem em unidades passíveis de denominação, remete ao nosso modo de percepção e de ‘recorte’ do real em unidades culturais” (JOLY, 1996, p.73), apresentando assim uma interferência também pragmática, que ora se confunde com os aspectos da cultura ou do âmbito dessa vivência, bem como também daquilo em que se acredita, em maior ou menor grau, uma ideologia.

Entendendo assim que a identificação, sob um contexto geral de ideias é necessário para uma referência mais concreta, dentro dos diversos níveis de experiência, dentro das generalidades captadas pelos sentidos, a serem “conceituadas” e “rotuladas”, de tal forma que o aspecto de um determinado objeto ou elemento “depende de seu lugar e de sua função num padrão total” (ARNHEIM, 2002, p.11). Que essas referências sintáticas possam ajudar a situar efetivamente qualquer apontamento ou julgamento sobre os objetos em questão.

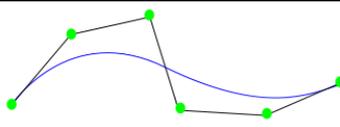
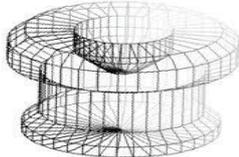
## ALGORITMOS COMPUTACIONAIS E OS PRINCÍPIOS DE MODELAGEM

Os algoritmos são instruções lógicas programadas para realizar diversos procedimentos na resolução de problemas, seguindo determinados padrões e regras. Os algoritmos computacionais se utilizam de estruturas capazes de exprimir um determinado resultado e são entendidos segundo aspectos de eficiência (a menor quantidade possível de ações para rapidamente realizar a operação, resultando num gasto menor de memória de cálculo) (FONSECA FILHO, 2007). Sob a lógica computacional, muitos problemas da arquitetura podem ser tratados como problemas puramente geométricos, uma vez inseridos todos os processos que o computador deve atender.

Nesses aparatos programados para os cálculos, são criadas geometrias em graus crescentes de complexidade e, frequentemente não percebidas pelos usuários comuns de software. Desse modo, há quatro estágios fundamentais dentro dessa demanda e, iniciam-se nas instruções das linguagens computacionais, passando posteriormente para a aplicação de sofisticados algoritmos de simulação de propriedades físicas reais. Níveis posteriores podem ser empregados ao se acrescentar processos envoltórios de efeitos, deformando, restringindo ou metamorfoseando os objetos (imprimindo-lhes mudanças por conta de forças cinéticas uni ou poli direcionais, torção, desfragmentação, etc.).

Abaixo um resumo bastante ilustrativo e superficial das principais fases, sendo a 1ª inserida no contexto da linguagem do software, âmbito normalmente oculto do usuário. A 2ª, 3ª e 4ªs etapas estão no âmbito da interface, sendo portanto visuais e interativas. Como toda listagem que pretenda enumerar aspectos complexos, padecem de limitações e detalhes que poderiam ser abordados em dezenas de páginas:

PRINCÍPIOS ELEMENTARES DE MODELAGEM ETAPAS GENÉRICAS DE SINTAXE			
1º lógico	- linguagem simbólica - instruções lógicas - expressões matemáticas - algoritmos	- expressões e linhas de comando contendo regras; - linguagem simbólica contendo estruturas programadas.	$S(u, v) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l R_{i,j}(u, v) P_{i,j}$ <p>Ex.: expressão matemática para uma dada configuração de NURBS.</p>

2º linear e plano	- desenho vetorial básico; - representação bidimensional; - <i>splines</i> ; - <i>beta splines</i> , <i>nurbs</i> , <sup>4</sup>	- manipulação dos nós, linhas, superfícies planas, conversões de estados elásticos para rijos e vice-versa, interpolação de formas.		Ex.: representação plana, linhas e nós de uma <i>spline</i> ou <i>nurbs</i> .
3º volumétrico e aramado	- visualização tridimensional <i>wireframe</i> ; - extrusão, op. <i>booleana</i> ; - malha poligonal; - <i>path deform</i> , <i>lattice</i> , etc.	- operações com sólidos: revolução, extrusão, adição, subtração, intersecção, projeção de superfícies planas sobre os volumes etc - modo aramado com arestas posteriores visíveis ou não.		Ex.: aspecto tridimensional, volume constituído por pequenos planos triangulares ou quadrangulares.
4º perspéctico e simulativo	- objetos tridimensionais com aparências simuladas do mundo real <sup>5</sup> : reflexão, refração, radiosidade, <i>caustics</i> , etc.	- superfícies com cor, textura, níveis de transparência; - ponto de vista em perspectiva, iluminação natural e/ou artificial; - modo <i>shaded</i> ou <i>rendered</i> .		Ex.: brilho, reflexo, luz, transparência, com características fotorealísticas.

**Quadro 01. Níveis de desenvolvimento da geometria, etapas de sintaxe mais comuns na computação gráfica.**

Nesses princípios elementares de modelagem, os dados digitais podem ser manipulados indefinidamente e são alterados segundo características diversas. Nessas elaborações computacionais existem conversões as mais improváveis possíveis. Esse meio torna-se, a caráter, o lugar privilegiado para a manipulação circunstancial, e nessas prospecções, recorrerem a estágios de validação dessas formas, ao tratar da visibilidade da expressão lógico-numérica (MACHADO, 2000).

<sup>4</sup> Uma *b-spline* ou *Beta Spline* é simplesmente uma generalização de uma curva de Bézier, uma curva polinomial expressa como a interpolação linear entre alguns pontos representativos, chamados de pontos de controle. No subcampo da matemática relativo à análise numérica, uma *B-spline* é uma função de base (daí o “B”) que tem suporte no seu grau, na suavidade e na partição de domínio. Uma *spline* é uma curva definida matematicamente por dois ou mais pontos de controle. Os pontos de controle que ficam na curva são chamados de nós. Os demais pontos definem a tangente à curva em seus respectivos nós. Assim, as NURBS são descrições de curvas matemáticas baseadas nos princípios de Pierre Bézier, cujas tangentes podem ser entendidas não somente como linhas de continuidade à curva, mas que contém “pesos” nesses pontos, também manipuláveis, os nós. As curvas são facilmente controladas e foram introduzidas inicialmente na indústria automobilística. De modo geral são altamente intuitivas e representáveis em três dimensões (não-uniforme), com seus eixos descritos matematicamente (racionais), sendo portanto uma linha curva: no inglês *Non Uniform Rational Basis Spline*. Se as NURBS são descritas matematicamente e representáveis no computador, são igualmente possíveis de serem construídas por meio de máquinas CNC, numericamente controladas.

<sup>5</sup> As aparências são simuladas também quanto às características das imagens produzidas no imaginário coletivo pelos aparelhos mecânicos de captura: câmeras fotográficas ou filmadoras; imitam a abertura da lente, profundidade de campo, *flares* (brilhos na lente); simulam ainda desgaste no tempo (ruído, corrosão, arranhões, etc.); ambiências (névoa, fumaça, pouca ou alta luminosidade natural, etc.).

As formas tridimensionais geridas por estes novos processos constituem atualizações das chamadas imagens de síntese, que seriam confluências das abstrações matemáticas tornadas modelos sensíveis e aprazíveis aos nossos sentidos:

...estas 'imagens' tornadas visíveis não esgotam imediatamente a substância dos modelos formais que as engendram: só dão conta deles de modo parcial e relativo. Enquanto 'imagens', elas não permitem entender o modelo abstrato que as originaram, mas abrem uma janela para ele (QUÉAU, 1993, p.92).

Essa janela vista a partir da interface do computador, é bastante similar ao quadro da perspectiva, mas com o grande diferencial de ser interativa. O modelo construído e visualizado é uma geratriz para infinitas imagens: por meio da interface são visualizados os milhões de pixels sob quaisquer pontos de vista, reunindo ao amparo das etapas modeladas, simultaneamente os detalhes processados pelas operações algorítmicas.

## GEOMETRIA COMPUTACIONAL E SUA APLICAÇÃO NA ARQUITETURA

A geometria computacional trata também de objetos no espaço, como pontos, retas, planos, polígonos, etc., tendo assim grandes semelhanças com o desenho geométrico. Fundamenta-se na ação de desenvolver novas representações a partir de construções elementares, em planos cada vez mais simplificados de cálculo (pela limpeza e clareza das instruções de comando; rapidez de processamento do algoritmo em códigos cujos resultados das expressões matemáticas foram objetivamente escritos) e no seu teor ou resultado, cada vez mais complexos. A partir da geometria euclidiana básica e seus axiomas (sentenças não necessárias de serem provadas por serem óbvias e fazerem parte de um consenso inicial necessário para a construção de variáveis maiores) determina-se construções geométricas baseadas em operações simples. Os axiomas são fundamentais pois correspondem a uma hipótese inicial, a partir da qual outros enunciados são logicamente derivados. Pode ser uma sentença, uma proposição, um enunciado ou uma regra que permite a construção de um sistema formal (FONSECA FILHO, 2007).

Na geometria computacional, as figuras geométricas e construções correspondem a estruturas de dados e algoritmos. Os cálculos levam em consideração essas entidades segundo resultados lógicos, precisos, que atendem objetivamente aos enunciados. Essa área passa a ser considerada uma ferramenta fundamental a diversas áreas que lidam com uma abordagem geométrica, como a computação gráfica, a robótica, os sistemas de informações geográficas, etc. Desse modo, há um corpo de dados e informações que incluem todos os princípios geométricos já conhecidos (e sobre eles se assenta) e, as mais improváveis combinações que resultam em infindáveis possibilidades de expressão tridimensional e tectônica. Essas unidades, como parte da linguagem, podem ser usadas para criar e compor diversos níveis de construção e, igualmente de utilidade (de partes que podem ter constituições de usos específicos e determinadas a priori, a outras cujos fins são apenas contemplativos ou de admiração, tão importantes quanto as anteriores).

Essa geometria opera em todos os níveis da expressão tectônica, de modo que não se trata apenas de aparência. Uma vez constituída no espaço computacional, forma externa e interna, estrutura e vedação, bem como o conjunto de elementos conhecidos da arquitetura tradicionalmente concebida, são ainda partes de um todo maior genericamente representado. Como a máquina permite programar, são estabelecidos critérios de dependência nesses elementos (sejam eles considerados formas geométricas, elementos de composição tridimensional e plásticos, ambientes, áreas não construídas, etc). Podem ser feitas regras, traçando relações entre eles, definindo dependências ou simples referências.

Como arquitetos normalmente não possuem domínio sobre as linguagens de programação, e isto exigiria esforços de estudos em lógica de programação e o domínio de algumas linguagens específicas, vários softwares trazem já “blocos de encaixe” contendo uma sintaxe interna de programação e comportamento, com conexões que se assemelham a puzzles. Num processo de agenciamento destes, simultaneamente é construído um algoritmo de alta complexidade, mas de modo muito mais fácil. Também, como parte integrante desses “blocos”, o software se encarrega de estabelecer as possíveis conexões cabíveis (o

usuário nem mesmo conseguiria realizar um tipo de erro considerado absurdo pelos programadores profissionais). O software testa a sintaxe do algoritmo e torna a sequência de pequenos scripts válida, dentro das opções ofertadas ao usuário.

## ARQUITETURA DIGITAL E SUAS MORFOGÊNESES

A era da informação, de saturação dos dados digitais e das velocidades e dos tempos minimizados pelo advento da internet traz novas possibilidades de concepção e construção arquitetônicas:

No campo conceitual, computacional, as arquiteturas digitais topológicas, de geometrias de espaço não-euclidiano, sistemas cinéticos e dinâmicos, e algoritmos genéticos, estão suplantando outras arquiteturas tecnológicas. Os processos de projeto digitalmente orientados são caracterizados por transformações dinâmicas, abertas e imprevisíveis, mas de estruturas tridimensionais coerentes que estão dando origem a novas possibilidades arquitetônicas. (KOLAREVIC, 2005, p.117)<sup>6</sup>

Os processos experimentais são os mais diversos possíveis, onde todo tipo de partido do dado digital é possível de ser empregado. Esses dados digitais podem ser convertidos em diversas sucessões que tiram proveito das suas informações, convertendo-as em novas instruções formais. Assim como ocorre em certos processos criativos de outros campos do conhecimento humano dessa época contemporânea, na arquitetura também há uma corrosão dos seus modelos, cujas características dadas apenas pelas suas aparências nem sempre são possíveis de serem determinadas quanto à tecnologia empregada. Sucedem-se diversas visualidades permutativas com objetos que até pouco tempo eram ficção científica no cinema; ou ainda com formas caóticas presente nas artes, bem como com ambientes excêntricos ou surreais do design, etc.

Nesse sentido, todos parecem requerer a evocação de certas realidades criativas que não cessam significados: "...no terreno da cultura, o que se 'imita'

---

<sup>6</sup> *"In the conceptual realm, computational, digital architectures of topological, non-Euclidean geometric space, kinetic and dynamic systems, and genetic algorithms, are supplanting technological architectures. Digitally driven design processes characterized by dynamic, open-ended and unpredictable but consistent transformations of three-dimensional structures are giving rise to new architectonic possibilities.* (KOLAREVIC, 2005, p.117).

ou se assimila não são os enunciados diretamente [...], mas estruturas abstratas, arranjos sintáticos, modos de selecionar e combinar” (MACHADO, 2003, p.69). A contínua possibilidade de transitar esses terrenos hibridizados faz com que hajam novas inserções, novas regiões adjacentes cujos contornos podem ser explorados. Espelhar esses limites de apropriação, essas justaposições e cruzamentos favorece articular e reorganizar aquilo que se encontra num terreno confortável, exaustivamente repetido. A maioria das propostas nesse campo extravasam esses limites do senso comum, e são também fundadas em investigações experimentais. Desse modo, para facilitar a compreensão acerca das suas principais características, o quadro a seguir é apresentado:

ARQUITETURA DIGITAL	
- desmaterializada	- criada por linguagem digital; - expressões lógicas da matemática e da computação; - visível inicialmente apenas por dispositivos;
- dinâmica	- capaz de se alterar, reverter no tempo; - algoritmos podem funcionar como camada dupla de efeitos; - capaz de conter cinetismo e interação, de passar por estágios de transfiguração;
- simula leis da física	- qualquer processo físico pode ser simulado; - superfícies horizontais fluidas e objetos podem flutuar; - relações de peso, tamanho e consistência são apenas visuais;
- novas ordens tectônicas	- especulação das formas topológicas e não cartesianas; - exploram relações sinestésicas; - expressão criativa no espaço virtual;
- fabricação digital	- as peças complexas são realizadas por equipamentos de corte, montagem, dobradura e solda também digitais: CNC; - maquetes de estudos feitas em impressoras 3D utilizam técnicas aditivas, subtrativas ou formativas; <sup>7</sup> - os sólidos podem ser planificados para construção manual nas técnicas de <i>unfolding</i> , <i>unroll</i> , etc.
- ações da intuição e imaginação	- fluidez formal, permanente devir; - estados transformativos; - analogia a imagens ilusórias e de pulsos luminosos.

**Quadro 02. Principais características da arquitetura digital.**

De um modo geral, pode-se afirmar que os objetivos da arquitetura digital compreendem determinadas prospecções do projeto de arquitetura por meio de

<sup>7</sup> A fabricação das peças pode envolver vários métodos e, os principais são: o método subtrativo que envolve a remoção de determinados volumes de materiais por máquinas multi-eixo; o método aditivo, realizado pelo acréscimo de camadas, numa formação de incrementos subsequentes; o método formativo, quando da criação das peças pela restrição em moldes empregando aplicações de calor ou vapor (remodelagem ou deformação). Nesses processos há a utilização do conceito de customização em massa, na produção de bens e serviços fabricados individualmente. Essa singularidade desafia as hipóteses industriais do início do séc. XX e sugere um novo paradigma pós-industrial de fabricação: o fato das peças serem únicas não onera os gastos da realização, pois o método de corte é todo automatizado, processando mesmas energias e materiais empregados como numa manufatura em série.

instruções, princípios e regras computacionais, bem como também numa etapa de visualização, simular os problemas de projeto. Assim, esses objetivos ocorrem na realização de processos projetuais, tanto nas sondagens de problemas reais quanto nas experiências especulativas:

---

**OBJETIVOS DA ARQUITETURA DIGITAL**

---

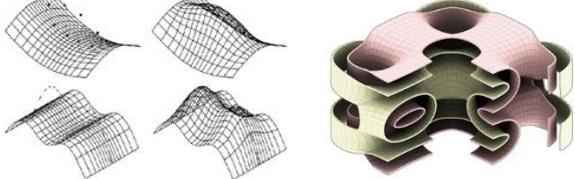
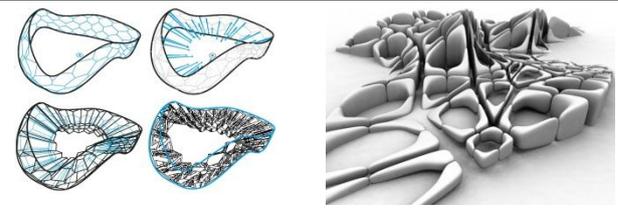
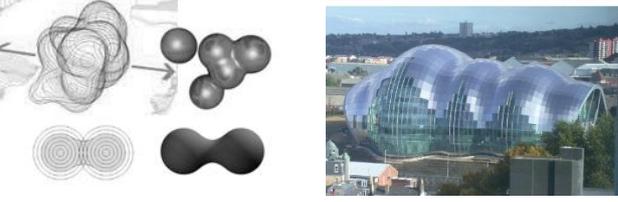
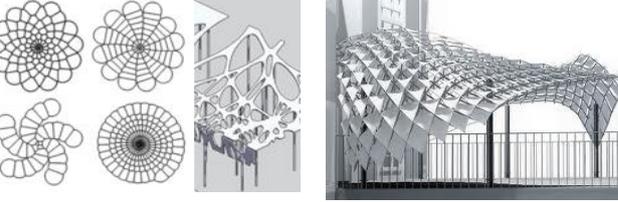
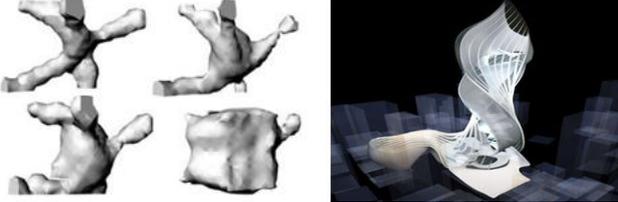
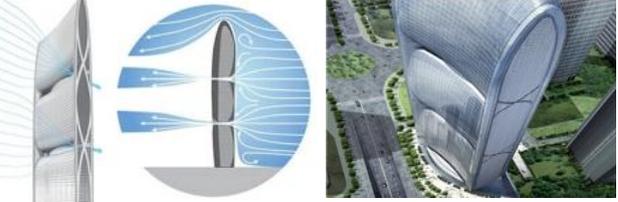
- 1 Nos processos de projeto, testar condições de exequibilidade; observar detalhes complexos; adequar materiais; adequar aspectos da implantação e topografia; simular novos sistemas estruturais; simular processos físicos; calcular variações do conforto térmico e acústico, etc.;
  - 2 No outro extremo, provocar ficções, incitar o desenvolvimento de objetos ainda não possíveis de serem realizados: estabelecer nas comunidades de pesquisa e no imaginário coletivo situações de alto avanço tecnológico e provocar igualmente cenários que estudem e levantem essas propostas, no sentido de efetivamente criá-las;
  - 3 Criar estados de ânimo mais críticos em relação aos trabalhos que se inspiram demasiadamente uns nos outros; às correntes de pensamento impregnadas de ideias pré-concebidas que preconizam apenas as suas próprias validades e conferem um único tipo de lógica projetual;
  - 4 Desenvolver sistemas, estruturas e modelos interativos, etc.
- 

**Quadro 03. Principais metas da arquitetura digital.**

A partir de todos esses apontamentos realizados, para conseguir compreender os diferentes tipos de arquiteturas digitais é necessário realizar uma prospecção das suas características sintáticas primárias, das suas morfogêneses. A morfogênese [de morf(o)- + -gênese] compreende o desenvolvimento da forma e da estrutura de um organismo (apropriação do termo biológico e cujos princípios são aplicáveis a geometrias decorrentes dos usos dos algoritmos) (KOLAREVIC, 2000), em que o desenvolvimento dos modelos podem se alterar no decorrer de um tempo.

De forma geral, a característica primária desses modelos encontra-se na busca por uma fluidez presente nas formas curvas (OXMAN, 2005), (KOLAREVIC, 2003), em geometrias não-euclidianas representáveis com o auxílio do computador. Há uma diversidade muito grande de modelos digitais e, organizá-los em categorias não é uma tarefa fácil. Isso porque o ritmo do aperfeiçoamento das linguagens computacionais é absurdamente rápido e, determinados recursos são, nessa mesma velocidade, tornados obsoletos. Entrementes a essas dificuldades, o quadro a seguir é apresentado, tendo em vista a abordagem dos diversos autores presentes nesse artigo:

**PROCESSOS DE SINTAXE: MORFOGÊNESES DIGITAIS**

topológica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- curvas, superfícies e formas com propriedades elásticas, <i>NURBS</i>;</li> <li>- formas podem ser inicialmente euclidianas e ao serem manipuladas adquirem complexidade polinomial de 3º, 4º graus ou ainda superiores.</li> </ul>	
paramétrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geometrias definidas por conceitos e restringidas por parâmetros;</li> <li>- associa-se à definição topológica a declaração de regras que definem a ligação entre entidades através de programação;</li> <li>- equações computacionais criam e estabelecem vínculos entre objetos.</li> </ul>	
metamórfica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- metamorfoses, transfigurações graduais;</li> <li>- formas intermediárias, <i>morphing</i>;</li> <li>- animação por <i>keyframes</i>, <i>keyshapes</i>, <i>shape tweening</i>, <i>path deform</i>, etc.</li> <li>- deformação por envelopamento <i>lattice</i>, etc.</li> </ul>	
isomórfica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geometrias baseadas nos modelos denominados <i>blobs</i> ou <i>metaballs</i>;</li> <li>- polisuperfícies isomórficas que contém campos para se atraírem ou repelirem;</li> <li>- simulam estágios fluidos, viscosos;</li> <li>- formas com aparências sempre arredondadas, graduais e suaves.</li> </ul>	
generativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- algoritmos randômicos ou capazes de simular comportamentos ou forças da natureza, crescimento das plantas, formação de nuvens, direção dos ventos;</li> <li>- algoritmos de evolução, genéticos;</li> <li>- podem atuar na matemática do tipo fractal ou outras variáveis complexas, etc.</li> </ul>	
animada	<ul style="list-style-type: none"> <li>- utilizam-se recursos da cinemática direta e inversa, promovendo distorções;</li> <li>- alterações baseadas em sistemas de partículas: <i>fire</i>, <i>smoke</i>, <i>cloud</i>, etc.</li> <li>- sistemas cinéticos: <i>wave</i>, <i>wind</i>, <i>twist</i>, etc.</li> </ul>	
performance	<ul style="list-style-type: none"> <li>- processo capaz de modelar a geometria segundo simulação física dos sons, dos ventos, da água, do sol, etc.</li> <li>- dados são capturados e inseridos na máquina para interação;</li> <li>- são realizados cálculos de melhor performance estrutural, de conforto, de elementos de vedação, etc.</li> </ul>	

**Quadro 04. Natureza da formação geometrias.**

## MORFOGÊNESE TOPOLÓGICA

Para entender essa primeira modalidade da gênese com princípios topológicos<sup>8</sup>, é necessário inicialmente realizar algumas abstrações, pois nesse campo, as dimensões dos objetos pouco importam, e sim as propriedades com que certos agrupamentos geométricos são compostos. A topologia pode ser entendida como uma ciência que trata das superfícies elásticas, e lida com os objetos pelas relações que têm entre si, independentes de escala (as relações não são métricas). Assim, para a topologia, um cubo é igual a uma esfera, já que seus pontos podem ser convergidos espacialmente de uma forma para outra (função homeomórfica), mas ambos seriam diferentes de uma xícara (porque contém dois nós de atravessamento: as ligações da asa). Para a topologia não importa as dimensões reais, mas as ordens dos vínculos – relações entre pontos – numa sequência lógica desses elementos.

Outras funções importantes na topologia são a homotopia e a homologia. Na primeira são calculadas gradações da forma, em estágios definidos pelo usuário e permitem compreender transições em qualquer circunstância; na segunda são estudadas as semelhanças entre formas e estruturas. (FONSECA FILHO, 2007).

A topologia trata das propriedades qualitativas das figuras geométricas, uma vez que sendo submetidas a distorções intensas não perdem suas qualidades. Demonstra que forma e tamanho são aspectos relativos e maleáveis. Certas figuras poderão ser arbitrariamente deformadas, laceradas ao extremo e, ainda assim conservarem propriedades iniciais importantes.<sup>9</sup> Para PERRELA (2001), a manipulação topológica permite uma variação dinâmica da forma e uma plasticidade espetacular. A topologia na arquitetura é mais que a mutação da forma, pois tornou também flexível as opções da estrutura, contexto e programa em padrões entrelaçados e dinâmicos: o espaço é assim feito por interligações singulares entre elementos diversos.

---

<sup>8</sup> A topologia (do grego *topos*, “lugar”, e *logos* “estudo”) é o ramo da matemática que estuda os espaços topológicos, sendo considerada uma extensão da geometria.

<sup>9</sup> Esses conceitos matemáticos já eram conhecidos a bastante tempo, mas só se tornaram de fato aplicáveis quando a computação gráfica tornou visível essas geometrias manipuláveis.

No âmbito arquitetônico costuma-se partir de elementos constitutivos da geometria euclidiana, de volumes discretos representados no espaço para posteriormente realizar transformações, baseadas matematicamente nas curvas e superfícies NURBS, apresentando características manipuláveis. Nesse espaço topológico, a geometria não é representada por equações implícitas, mas por funções baseadas em parâmetros e que descrevem diversas possibilidades. A forma que uma curva ou superfície NURBS assume é obtida na manipulação dos pontos de controle (ver nota 4). Essas geometrias podem ser alteradas, já que são revertidas em estados maleáveis, produzindo aspectos irregulares: as formas são tensionadas, flexíveis e criam também superfícies contínuas. As NURBS tornam as formas heterogêneas, mas adequadas a um espaço topológico computacionalmente possível e, ao alterar a localização desses pontos, diversas variantes podem ser realizadas (KOLAREVIC, 2000).

## MORFOGÊNESE PARAMÉTRICA

Já nos recursos da gênese paramétrica ocorre um processo matemático que envolve a identificação de um conjunto completo de coordenadas efetivas no processo ou modelo. A parametrização de uma linha, superfície ou volume, por exemplo, implica a identificação desse conjunto de coordenadas, que permite unicamente identificar qualquer ponto (sobre a linha, superfície ou volume) com uma lista ordenada de números. Assim, a parametrização é o processo de decisão e definição dos parâmetros necessários para uma especificação completa ou relevante de um modelo ou objeto geométrico. Ocorre uma codificação de um conjunto de regras ou relações lógicas numa determinada sequência para resolver um determinado problema: há uma prescrição da forma de acordo com uma série de regras explícitas.

Os parâmetros são os valores que podem atender a uma determinada variável, permitindo diferentes soluções para um mesmo problema. Na modelagem, as obtenções das respostas não necessariamente estão restritas às formas plásticas, mas podem ser estendidas a qualquer característica como o desempenho estrutural, a análise térmico-acústica, etc. Nesse sentido, é

fundamental o papel do arquiteto na escolha e arranjo de parâmetros, a partir de alternativas lançadas no cálculo do processo. “Processos que trabalham com a conjugação de parâmetros têm raízes em questões matemáticas voltadas aos algoritmos, em que a solução para uma pergunta surge do desencadeamento de uma série lógica de questionamentos” (TRAMONTANO e SOARES, 2012).

As arquiteturas paramétricas são realizadas dentro de

parâmetros de um projeto especial, que são declarados, e não a sua forma. Ao atribuir valores diferentes para os parâmetros, objetos ou configurações diferentes podem ser criados. As equações podem ser usadas para descrever as relações entre objetos, definindo assim uma geometria associativa - geometria componente mutuamente ligada (KOLAREVIC, 2005, p.119).<sup>10</sup>

## MORFOGÊNESE METAMÓRFICA

A gênese metamórfica de objetos inclui diversas técnicas, desde a animação por quadros-chaves, onde o computador calcula todos os processos de gradação da forma (metamorfose); as deformações do modelo por caixas delimitadoras conhecidas geralmente por envelope (*bouding box* com desfiguração por *lattice*): um objeto tridimensional é usado como receptáculo de outro modelo; esse envelope é composto por uma malha que também é composta de pontos de controle e pode ser animada em qualquer mudança desses pontos. Há também outros casos onde objetos seguem uma determinada trajetória *spline* e se alteram nesse caminho (*path deform*), em função da velocidade imprimida ao objeto e também das curvaturas angulosas que forçam o objeto nessa direção, criam distorções graduais. Em todas as circunstâncias ocorre uma mudança da forma por interpolação, que pode ser registrada como *keyframe* ou *keyshape* para ser adequada a propósitos arquitetônicos (KOLAREVIC, 2000).

A ideia da morfogênese com princípios metamórficos é criar uma sequência intermediária de configurações, estados ou aspectos, representando a

---

<sup>10</sup> “... it is the parameters of a particular design that are declared, not its shape. By assigning different values to the parameters, different objects or configurations can be created. Equations can be used to describe the relationships between objects, thus defining an associative geometry - the “constituent geometry that is mutually linked”. (KOLAREVIC, 2005, p.119).

transição ou passagem entre eles. Além disso, diversos fenômenos simulados que eram invisíveis a olho nu podem ser estacionados para serem vistos em detalhes. Muitas propostas intermediárias também impregnam um tipo de estranhamento (e por isso são importantes de serem estudadas), pois o resultado é influenciado pelos estágios do início e do fim que se referencia.

## MORFOGÊNESE ISOMÓRFICA

Os processos baseados em polisuperfícies isomórficas são entidades conhecidas como *blobs* ou *metaballs*. Os chamados meta-objetos são superfícies implícitas, ou seja, não são diretamente definidas por vértices ou pontos de controle (como as demais geometrias em geral): elas existem de modo procedural<sup>11</sup> (BLAIN, 2011). São modelos gráficos de aparência globular, utilizados para simular vários tipos de superfícies, desde aquelas em estados líquidos ou altamente fluidos como o mercúrio, passando por estágios viscosos e de consistências mais firmes e gelatinosas. Os meta-objetos normalmente tendem a fundir suas superfícies ao chegarem perto um do outro (quando os campos de influência permitem miscigenações), simulando a fluidez dos líquidos, um dos processos mais complexos de serem atingidos em toda a história da computação gráfica.

Para efeitos práticos nos softwares, toda *metaball* possui uma geometria visual (selecionável) e um segundo anel que o circunda, onde o usuário define a área de influência. Estas são capazes de gerar superfícies irregulares por possuírem campos de influência positivo ou negativo (e por consequência podem atrair ou repelir). Ao se aproximarem umas das outras elas interagem e esses campos influenciam nas suas formas, dependendo da posição e da intensidade: geram as chamadas polisuperfícies isomórficas. Na *metaball* a forma e o campo de influência podem ainda não ser coincidentes: essa superfície de influência pode estar menor ou maior que sua forma exterior. Quanto maior a quantidade de *metaballs* mais complexo é o cálculo computacional, e mais complexa é a superfície decorrente.

---

<sup>11</sup> Cada um dos objetos é definido por um conjunto de fórmulas matemáticas subjacentes. Para ser considerado procedural, o objeto deve suportar o conceito de procedimentos, e possuir uma sintaxe para defini-los (BLAIN, 2011).

A superfície implícita é definida como a superfície onde o campo tridimensional gerado por todas as estruturas direcionadas assume um dado valor. Por exemplo, uma *metaball* esférica na qual a estrutura de direcionamento é um ponto, gera um campo isotrópico (idêntico em todas as direções) em torno de si e as superfícies no valor do campo constante são esferas centradas em um ponto direcionado. De modo geral os meta-objetos são constituídos de certos parâmetros matemáticos que perfazem operações lógicas entre as geometrias, podendo ser adicionados ou subtraídos uns dos outros. Essas geometrias usam pouca memória, mas requerem muito poder de processamento para serem computadas (BLAIN, 2011).

## MORFOGÊNESE GENERATIVA

Os resultados produzidos por algoritmos que apresentam um desenvolvimento randômico e com certo grau de autonomia, a partir de uma proposição, compreendem estágios cujos princípios se dão no estabelecimento de regras e o domínio de determinadas técnicas, causando uma imprevisibilidade no sistema. Talvez nesse aspecto, pudéssemos considerar uma fronteira da radicalidade quanto aos problemas da criação, no que se desenvolve esse formato de linguagem.

Há aqui um caso extremo na criação das formas, pois a partir da inserção de certas regras, o comportamento passa a conter uma autonomia, e por exemplo, no caso de algoritmos evolutivos, não se podem prever exatamente seus desdobramentos, ainda que sejam traçadas algumas metas. Nas produções artísticas e nas aplicações dos espaços arquitetônicos, esse processo se mantém dentro de alguns parâmetros, de algumas demarcações, mas apresenta sempre um caráter de transição, podendo estar em níveis pequenos de detalhes ou possível de desencadear toda uma estrutura maior.

O processo generativo pode ser entendido como um método e as suas fases mais interessantes se concentram nos estágios processuais (que emulam determinados comportamentos), dos que não se revertem apenas num resultado final, mas que se mantém em sucessão de estados transformativos (KRAUEL, 2010). O algoritmo pode se basear na elaboração de regras de

qualquer ordem (cultural, sociológica, de delimitação geométrica ou formal, de restrições de uso, etc). Desse modo é criada uma gramática formal (regra) ou *shape-grammar*. “Certos programas são até mesmo inspirados por modelos genéticos. Mas essa hibridização, [...] conservou todos os caracteres que o termo toma emprestado de sua raiz grega (*hybris*) que designa excesso” (COUCHOT, 2003, p.269).

Na gênese generativa há criação das formas através de regras (algoritmos capazes de se comportarem como ‘pseudo-organismos’ e com certo grau de imprevisibilidade). Esses processos são inspirados também nas sucessões de estados ou mudanças que a natureza é capaz de criar, tendo em vista os mecanismos de adaptação ao meio ambiente. Os trabalhos generativos são baseados em algoritmos que possuem parâmetros de modelagem dentro de uma lógica inicial e, a partir desta, um método para criar variações e, por fim, um último método para selecionar os resultados obtidos.

## MORFOGÊNESE DE ANIMAÇÃO

Na animação, define-se a co-presença da força do movimento na concepção do objeto arquitetônico, produzindo inflexões na forma. O movimento implica em ação, e a animação implica em alteração da forma, seja pela inserção de quadros-chaves, para promover uma interpolação gradual entre diferentes aspectos (como já vistos anteriormente), e os vários tipos de sistemas cinéticos: *wave*, *wind*, *twist*, etc., cinemática direta e inversa ou emissão de partículas (LYNN, 1993). Formas intermediárias não são obtidas diretamente pelo usuário, e necessitam de diversos cálculos capazes de realizar os atravessamentos requeridos pelo arquiteto.

Quando o movimento é aplicado, as transformações tendem a ocorrer em sistemas hierárquicos. E assim, como também num processo de elaboração poética, “...o cinetismo e a simultaneidade [...], com seus modelos combinatórios instáveis, [...] pressupõem uma sintaxe de deslocamentos, uma relação dinâmica de coerência, onde o sentido aparece como uma entidade em permanente devir” (MACHADO, 2003, p.220).

## MORFOGÊNESE DE PERFORMANCE

Os processos de performance podem ou não estar integrados às demais situações anteriores, e procuram obter do objeto o máximo de suas potencialidades, vinculadas a características de desempenho quando esse é submetido a fatores externos, tais como ventilação, iluminação, acústica, controle ou aproveitamento do calor solar, etc. Ao contrário da geração, aqui é estabelecida uma interatividade com a máquina a partir de dados captados ou inseridos como conjunto de interações exógenas (COUCHOT, 2003). O modelo sofre diversos processos que caracterizam manifestações físicas ou energéticas no espaço virtual, simulando estágios capazes de fornecer as melhores condições de adequação e que interferirão nas tomadas de decisão posteriores.

Os processos de performance se utilizam de dados externos para que sejam executados cálculos de desempenho. Assim, por exemplo, o cálculo da acústica pode ser feito pelos diversos níveis de alcance tridimensional do som, produzindo um modelo adequado àquelas características e ainda avaliar as variantes sonoras de reverberação como forma de dissolução gradual das partículas e executar também essa representação espacial.

Nessa circunstância é como se pudéssemos fornecer ao computador uma referência fundamental de cálculo, baseada nos limites do sítio onde será assentado o edifício (incluindo questões legais de apropriação e restrições urbanísticas) e elencar no software os vários problemas que deverão ser mensurados. A partir dessas apropriações, a máquina desenvolve a forma mais adequada capaz de atender, talvez não totalmente aos requisitos, mas em graus percentuais as melhores alternativas, baseadas nos fatores de privilégio dos aspectos de projeto inseridos pelo arquiteto.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O espaço virtual pode ser um autêntico lugar para ensaiar recursos de expressão e gênese tectônica. Nesse lugar, a linguagem de representação da arquitetura e a linguagem computacional encontram um denominador simbólico

comum, partilham um exercício de significação e conferem à realidade um ato simultâneo (até pouco tempo atrás, improvável) de diálogo. Além desse aspecto que, até pouco tempo atrás jamais pensávamos atingir, essas formas também suportam camadas múltiplas de deformação, ou efeitos onde minimamente, cada característica pode sofrer ajuste.

Desse modo, todas essas operações simultâneas realizadas pela máquina, o raciocínio humano jamais conseguiria atingir. Por extensão, as arquiteturas digitais podem exprimir frequentemente uma condição de visualidade extrema, demonstrando uma espécie de limite tecnológico de produção. Exploram potencialmente tudo o que o computador permite e, como um meio cujo espaço não há gravidade, evidentemente muitas delas podem não ter tectônica suficiente para serem executadas fisicamente.

De forma cada vez mais acentuada problematiza-se a criação de modelos que se utilizam de recursos do nosso tempo e, cada vez mais conscientes do papel que representam como expressão legítima da nossa época. Muito provavelmente, nem todas as experiências possam ser válidas em raciocínios projetuais cujas atividades requeiram características de uso específicas, entretanto, como princípio de um desejo para expressão visual, na qual a arquitetura se fundamenta, é sem dúvida, fundamental para pensarmos certos encaminhamentos dos processos criativos.

Assim, um dos maiores desafios enfrentados a partir das transversalidades oferecidas pelas linguagens digitais é conseguir estabelecer conceitos que rompam antigos limites e fronteiras que parecem desmoronar a partir das hibridizações que ocorrem nesse momento. É fundamental reportar que o contexto computacional atua como uma espécie de suporte para o raciocínio das decisões de projeto e, longe de ser um meio inocente ou neutro, ocasionará fortemente as características da arquitetura.

#### REFERÊNCIAS:

ARNHEIM, Rudolf. **Arte e percepção visual: uma psicologia da visão criadora: nova versão**. Trad. Ivonne Terezinha de Faria. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

BLAIN, John M. **An introduction to Blender. A book for beginners**. 2011. Disponível em <<http://wiki.blender.org>>. Acesso em: 27 jul. 2013.

COUCHOT, Edmond. **A tecnologia na arte: da fotografia à realidade virtual**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2003.

DONDIS, Donis A. **Sintaxe da linguagem visual**. Trad. Jefferson Luiz Camargo. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

FIDALGO, António. **Semiótica: a lógica da comunicação**. Covilhã: Universidade da Beira Interior, 1998. Disponível em <[http://www.livroslabcom.ubi.pt/pdfs/20110826-fidalgo\\_antonio\\_logica\\_comunicacao.pdf](http://www.livroslabcom.ubi.pt/pdfs/20110826-fidalgo_antonio_logica_comunicacao.pdf)>. Acesso em: 27 jul. 2013.

FIDALGO, António; GRADIM, Anabela. **Manual de semiótica**. Ubi Portugal, 2005. Disponível em <[bocc.unisinos.br/pag/fidalgo-antonio-manual-semiotica-2005.pdf](http://bocc.unisinos.br/pag/fidalgo-antonio-manual-semiotica-2005.pdf)>. Acesso em: 27 jul. 2013

FONSECA FILHO, Clézio. **História da computação: O caminho do pensamento e da tecnologia**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.

JOLY, Martine. **Introdução à análise da imagem**. Trad. Marina Appenzeller, Campinas, SP: Papyrus, 1996.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in digital age: design and manufacturing**. New York: Spon Press, 2003.

\_\_\_\_\_. Designing and Manufacturing Architecture in the Digital Age. In.: **eCAADe**, Lisboa, 2005

\_\_\_\_\_. Digital architectures. In: **IV Congresso Ibero Americano de Gráfica Digital**, Rio de Janeiro, 2000.

\_\_\_\_\_. Digital morphogenesis and computational architectures. In: **4º SIGRADI**, Rio de Janeiro, 2005, p.1-6.

KRAUEL, Jacobo. **Contemporary digital architecture design & techniques**. Barcelona: Links, 2010.

LYNN, Greg. Architectural curvilinearity: the folded, the pliant and the supple. In: LYNN, Greg (Ed.), **Architectural Design 63: Folding in architecture**, London: Academy Editions, 1993. p.8-15.

MACHADO, Arlindo. **Máquina e Imaginário**. São Paulo: Senac, 2000.

\_\_\_\_\_. **A televisão levada a sério**. São Paulo: Senac, 2003.

MORRIS, Charles W. **Fundamentos da teoria dos signos**. Trad. Paulo Alcoforado e Milton José Pinto. Rio de Janeiro, Eldorado Tijuca, São Paulo: EDUSP, 1976.

NOVAK, Marcos. **The meaning of trans-architecture**. 2000. Disponível em <<http://www.fen-om.com/network/2010/03/05/the-meaning-of-trans-architecture-marcos-novak/>> Acesso em: 13 mar. 2012.

OXMAN, Rivka. **Digital architecture as a challenge for design pedagogy: teory, knowledge, models and médium**. Technion, Institute of Technology, Haifa, 2008.

\_\_\_\_\_. Theory and design in the first digital age. **Design Studies** 27, 2005, p.229-265.

PARENTE, André. Os paradoxos da imagem-máquina. In: PARENTE, André (Org.) **Imagem-máquina: a era das tecnologias do virtual**. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.

PERRELLA, Stephen, **Eletronic baroque**. *G. Di Cristina* [13], 2001, p.149-150.

\_\_\_\_\_. (Org.) **Hypersurface architecture**. **Architectural Design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

QUÉAU, Philippe. O tempo do virtual. In: PARENTE, André (org.), **Imagem-máquina: a era das tecnologias do virtual**. Trad. Rogério Luz et alii. Rio de Janeiro: Ed. 34, 1993.

TRABANT, Jürgen. **Elementos de Semiótica**. Lisboa: Presença, 1980.

TRAMONTANO, Marcelo, SOARES, João P. Arquitetura emergente, design paramétricos e o representar através de modelos de informação. In: **V!RUS**, São Carlos, n. 8, dezembro 2012. Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus08/?sec=6&item=1&lang=pt>>. Acesso em: 29 jul. 2013.

ZELLNER, Peter. **Hybrid space: new forms in digital architecture**. New York: Rizzoli, 1999.