

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Curso de Pós-Graduação - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo

FRATURAS METODOLÓGICAS NAS
ARQUITETURAS DIGITAIS

Verônica Gomes Natividade

Orientador: Alessandro Ventura – Professor Livre Docente

São Paulo
2010

Verônica Gomes Natividade

FRATURAS METODOLÓGICAS NAS
ARQUITETURAS DIGITAIS

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Área de Concentração: Projeto de Arquitetura

Orientador: Alessandro Ventura – Professor Livre Docente

**São Paulo
2010**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E
PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

E-MAIL: veronica.natividade@usp.br

N278f Natividade, Verônica Gomes
Fraturas metodológicas nas arquiteturas digitais/ Verônica
Gomes Natividade. --São Paulo, 2010.
302 p. : il.

Dissertação (Mestrado - Área de Concentração: Projeto de
Arquitetura) – FAUUSP
Orientador: Alessandro Ventura

1.Arquitetura – Sistemas computacionais 2.Projeto de
arquitetura – Metodologia 3. Tecnologia I.Título

CDU 72:681.31

Ao povo brasileiro

AGRADECIMENTOS

Ao meu Orientador, Alessandro Ventura, pela generosidade em compartilhar sua experiência, pelas críticas pertinentes, pela paciência e votos de confiança, meus sinceros agradecimentos.

Aos membros da banca do exame de qualificação Carlos Faggin e Charles Vincent, pelas críticas e sugestões que ajudaram a construir este trabalho.

Às funcionárias da Secretaria, em especial Isa e Cristina, por todos os 'galhos'.

Aos professores Arthur Lara e Franklin Lee, pelas oportunidades de expressão e pelas informações valiosas.

Ao professor e amigo Ernesto Bueno, pelos conhecimentos partilhados, por se dispor ao diálogo e à difícil tarefa de fazer críticas pertinentes entre uma madrugada e outra.

Aos meus pais, Joel e Helena, e meus irmãos Isolda e Rafael, cada um de vocês, à sua maneira muito própria é parte fundamental desse trabalho. Sem o seu acolhimento, seu incentivo e sua força, este trabalho não teria sido possível. Obrigada pelo seu esforço contínuo pelo meu aprimoramento e pelo apoio incondicional.

À minha avó Carmelita, por me acolher e me cuidar no momento mais difícil dessa caminhada, a quem dedico todas as letras desse trabalho.

À minha família paulistana, Avó Negra, Avó Zefa, Avó Rosa, Tia Duda, Tia Flora, Fernanda Affonso, Diogo Vilela Adolfo Matrizes, que me acolheu como um dos seus. Sem seu apoio, seu teto, seu carinho, esse trabalho não teria sido possível.

A Bruno Queiroz e Hélio Almeida, meus amigos queridíssimos, que sempre me incentivaram e com quem sempre pude compartilhar as conquistas e as dificuldades dessa caminhada.

À Elenira Arakilian Affonso, pela sua presença iluminada.

Aos meus companheiros de trajetória, Kleber Carvalho e Renata Malachias, pelas conversas instigantes, pelo apoio e o acolhimento.

A Raffael Veríssimo, amigo de todas as horas, pelo incentivo e apoio moral.

A Douglas Lopes, Hermínia Machy, Pedro Veloso, Raul Bueno, Maria Fernanda Lemos, Rachel Coutinho, com quem pude dialogar e trocar preciosos conhecimentos.

Aos amigos Petar Vrcibradic, Flávia Britto do Nascimento, Flavia d'Albuquerque, Marcelo Silveira e o pequeno Felipe, que me ajudaram desde o início dessa caminhada.

Às amigas Marina Pompéia e Cibele Lucena, pelo carinho.

A Alex Fausti, por manter minha saúde mental.

A Capes, pelo suporte financeiro e ao povo brasileiro, financiador desta pesquisa.

[LUXO]

O que pensa repreendia frequentemente sua amiga, devido ao seu luxo. Certa vez ele descobriu, na casa dela, quatro pares de sapatos. “*Eu também tenho quatro tipos de pés*”, desculpou-se ela.

O que pensa riu e perguntou: “*O que você faz quando um par está com defeito?*”. Então ela percebeu que aquilo ainda não estava bem claro para ele, e disse: “*Eu me enganei, tenho cinco tipos de pés*”. Com isso tudo ficou claro para o sr. Keuner. Bertolt Brecht. Histórias do Sr. Keuner.

RESUMO

O objetivo da presente dissertação é investigar as mudanças ocorridas na metodologia de projeto arquitetônico em função da incorporação do computador como ferramenta auxiliar na concepção de projetos. Parte do princípio de que existe relação íntima entre a ferramenta empregada, a metodologia adotada e a forma arquitetônica, tomando como recorte temporal a segunda metade do século XX. Mais especificamente, investiga as chamadas ‘arquiteturas digitais’, isto é, aquelas arquiteturas cuja elaboração e manipulação da forma tiveram como plataforma as ferramentas digitais ou softwares específicos para o desenho e modelagem. Neste caso, o computador não é empregado como ferramenta de representação, mas associado ao processo criativo, causando interferências diretas na forma dos edifícios.

Norteada pela pergunta ‘como as novas arquiteturas têm sido concebidas?’, o foco primordial da dissertação são as técnicas básicas exclusivamente digitais. Para isso, o estudo analisa três momentos evolutivos da metodologia de projeto assistido pelo computador. O período de formulação, onde é estudada a evolução das ferramentas digitais de projeto e sua gradativa incorporação ao domínio arquitetônico, bem como as novas técnicas e conceitos surgidos nesse momento; o ponto de inflexão, com a construção da primeira das arquiteturas digitais, o Museu Guggenheim de Bilbao, a partir do qual houve a consolidação do movimento digital na disciplina; e, finalmente, o terceiro momento, onde é identificada a ‘fratura metodológica’, isto é, quando as tecnologias paramétricas e algorítmicas, identificadas como duas técnicas básicas essencialmente digitais, emergiram como fontes catalisadoras do processo de evolução ‘das arquiteturas digitais para as arquiteturas geradas digitalmente’.

Com este trabalho, pretende-se fornecer contribuições iniciais para a atualização e evolução da prática de projeto na cena arquitetônica brasileira.

Palavras-chave: Novos Paradigmas, Metodologia de projeto, Representação, Parametrização, Arquitetura Algorítmica.

ABSTRACT

This research aims to investigate the changes in architectural design methodology due to the introduction of the computer as a tool to assist the design process. It assumes that tools, adopted methodology and architectural form are close related, taking as cut-off time the second half of the twentieth century. More specifically, it investigates the so-called 'digital architecture', that is, the digitally-based design architectures. In this case, the computer is not used as a tool for visualization, but as a generative tool to manipulate and transform architectural form.

Guided by the question 'how new architectures have been conceived?', this research focused on exclusively digital techniques. The research examines three moments of the evolutionary digital design methodology. The formulation period, where embracing the evolution of digital design tools and their gradual incorporation into the architectural practice, as well as new techniques and concepts arising in this moment. 'The turning point', with the construction of the first digital architecture, the Guggenheim Museum in Bilbao, which can be defined as a consolidating moment of the digital real in architecture realm, and finally, the third moment, identified as a 'methodology break', when the parametric and algorithmic technologies, recognized as essentially digital techniques that emerged as catalyst in the process of evolution 'from digital architectures for digitally generated architectures'.

This research aims to provide initial contributions for the upgrade and evolution of design practice in Brazilian architectural scenario.

Key-word: New paradigms, Design methodology, Representation, Parameterization, Algorithmic Architecture.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1. DAS FERRAMENTAS E A REPRESENTAÇÃO NA ARQUITETURA	31
Figura 1.1: Euclid of Megara (lat: Evklidi Megaren).....	43
Pintura da série Homens Famosos, Justus de Ghent, por volta de 1474.	43
Figura 1.2: Cúpula de Brunelleschi, Florença, 1420.	45
Figura 1.3: Ferramentas analógicas. (Piedmont-Palladino, 2007)	47
Figura 1.4: Regras para desenhar colunas gregas (Piedmont-Palladino, 2007).....	48
Figura 1.4: John Malton: Prancha XXV, Sombra, século XVIII.....	48
Figura 1.5: Estudos de Luz e Estudos de ótica e perspectiva (1775)	48
CAPÍTULO 2. O PERÍODO DE GESTAÇÃO.....	61
Figura 2.1: Console do Sketchpad, 1963.....	67
(Piedmont-Palladino, 2007).....	67
Figura 2.2: Demonstração do procedimento para desenhar uma linha e um círculo	68
Figura 2.3: Regras de restrição	69
Figura 2.4: Regra de restrição “P”	69
Figura 2.5: Desenhos artísticos.....	70
Figura 2.6: Esquemas de funcionamento do Flatwriter	81
Figura 2.7: Aspen MovieMap, 1979.....	83
Figura 2.8: Capela da Academia de Cadetes da Força Aérea dos Estados Unidos. Detalhes do revestimento.....	89
Figura 2.9: Ópera de Sidney. Desenho e maquete enviados ao concurso.	91
Figura 2.10: Ópera de Sidney. Diagramas com a forma final.....	93
Figura 2.11: Ópera de Sidney. Corte da esfera para gerar as superfícies	93
Figura 2.12: Modelo digital da silhueta da cidade de São Francisco	95
Figura 2.13: Modelo digital do edifício de escritórios.....	96
Figura 2.14: Avanços na representação de modelos digitais com objetos opacos	96
Figura 2.15: Cena do filme “2001: Uma odisséia no espaço” (1968).	100
Figura 2.16: Computador Macintosh (1984).	101
Figura 2.17: Ray-tracing em 1990 e 2009	104
Figura 2.18: Projeto de I. M. Pei para a <i>National Gallery East Wing</i> (Mitchell, 1992).	107
Figura 2.19: Composição de arcos.....	113
Figura 2.20 Curvas nurbs	115
Figura 2.21. Manipulação de pontos de controle de nurbs no software <i>Rhinoceros</i>	115
Figura 2.22 Curva bérzier	116
Figura 2.23: Variações topológicas do cubo.....	117
Figura 2.24: Formas topológicas: toro, fita Möbius e garrafa Klein	118
Figura 2.25: Endless House (1950), Frederick Kiesler	119
Figura 2.26: Blobs.....	120
Figura 2.27: Formação de meta-esferas	121
Figura 2.28: ‘The Bubble’	122
Figura 2.29: Organização das informações parametrizadas	123
Figura 2.30: Escada parametrizada.....	124
Figura 2.31: Cobertura parametrizada.....	125
Figura 2.32: Variação paramétrica da triangulação da superfície	126
Figura 2.35: Estação Waterloo, Londres, 1993. Arquiteto Nicholas Grimshaw	127
Figura 2.36: Algoritmo para perfurar o cubo	129
Figura 2.37: Mobiüs Studies, Stephen Perrella	133
Figura 2.39 Paracube, 1998. Marcos Novak	136
Figura 2.40: Morphing.....	138

Figura 2.41: Pontos-chave de animação tipo keyframe.....	139
Figura 2.42: Estudo do movimento de um cavalo)	139
Figura 2.43: Concurso para um ponto de ônibus em Nova Iorque, Greg Lynn, 1998	140
Figura 2.44: Modelo de simetria, Jonh Frazer, 1990	141
CAPÍTULO 3. O PONTO DE INFLEXÃO	145
Figura 3.1: Composição criada por Van Doesburg e Van Eesteren, 1925	153
Figura 3.2: Processo compositivo formal da Casa Guardiola, Eisenman.....	154
Figura 3.3: Processo compositivo formal da Casa Guardiola, Eisenman	155
Figura 3.4: Processo compositivo formal da Casa Guardiola, Eisenman	156
Figura 3.5: Edifício Sede da R.T.D, Los Angeles, 1987	157
Figura 3.6: Museu Vitra, Weil AM Rhein, Alemanha, 1989.....	157
Figura 3.7: Museu Weismar.....	158
Figura 3.8: Museu Weismar	158
Figura 3.9: Detalhamento convencional do Museu Weismar	159
Figura 3.10: Museu Weismar	159
Figura 3.11: Peixe de Barcelona e modelo digital correspondente	161
Figuras 3.12: Guggenheim de Bilbao em construção	164
Figura 3.13: Museu Guggenheim. Croqui e edifício construído.....	166
Figura 3.14: Maquete de estudo do espaço interno do Museu Guggenheim de Bilbao.	168
Figura 3.15: Organização do fluxo de informação do projeto do Museu Guggenheim de Bilbao.	170
Figura 3.16: Digitalização do Walt Disney Concert Hall	171
Figura 3.17: Aspecto da curva digitalizada	172
Figura 3.18: Equivalência entre mídias de representação	175
Figura 3.19: Modelo matriz do Experience Music Hall. Gehry Partners	176
Figura 3.20: Experience Music Hall. Estudo de interferências entre as instalações representadas em azul e a estrutura. Montagem da mesma estrutura	176
Figura 3.21: Instituto Winnick Museu da Tolerância, Jerusalém. Extração de corte no Catia	177
Figura 3.22: Simulação das fases de construção de um edifício.....	177
Figura 3.23: Modelo BIM do MIT Stata Center	179
Figura 3.24: Modelo BIM de coordenação interdisciplinar	180
Figura 3.25: Métodos de racionalização para curvas planas.....	185
Figura 3.26: Racionalização da esfera	186
Figura 3.27: Planificação do domo icosaedro	186
Figura 3.28: Panelização do Experience Music Project.....	188
Figura 3.29: Análise gaussiana de uma superfície do Experience Music Project	190
Figura 3.30: Superfícies desenvolvíveis	193
Figura 3.31: Superfícies regradas.....	193
Figura 3.32: <i>Weatherhead School of Management</i> . Superfícies desenvolvíveis	194
Figura 3.33: Modelo wireframe do Hotel Marquês de Riscal, 2002 – 2006.....	195
Figura 3.34: Simulação do fluxo de ar em situação de incêndio para estudo da forma do átrio da Weatherhead School of Management	195
Figura 3.35: Diagrama resumo	196
Figuras 3.36: Modelo BIM paramétrico do projeto de instalações para um hospital	206

CAPÍTULO 4. FRATURAS METODOLÓGICAS NAS ARQUITETURAS DIGITAIS..... 213

Figura 4.1: Projeto para o concurso da nova biblioteca da Universidade de Rostock, 2001	214
Figura 4.2 <i>Fluxtecture</i> , Zi-Hao Chen para o Concurso FEIDAD, 2006.....	215
Figura 4.3: Precedentes analógicos	216
Figura 4.4: Lehrter Bahnhof, Berlin, 2002, Pongratz Perbellini Architects.....	227
Figura 4.5: Loft randômico da curva	228
Figuras 4.6: Serpentine Gallery Pavilion 2005, Álvaro Siza e Eduardo Souto de Moura	229
Figura 4.7: Variação paramétrica da triangulação de uma superfície	229
Figura 4.7: Variação paramétrica da triangulação de uma superfície	230
Figura 4.8: Smartcloud, Andrew Kudless, Nova Yorque, 2007.	231
Figura 4.9: Variação paramétrica de elementos aplicados sobre uma superfície	231
Figura 4.9: Variação paramétrica de elementos aplicados sobre uma superfície	232
Figura 4.10: Algoritmo para geração de espiral.....	236
Figura 4.11: Mile Spiral, Benjamin Aranda e Chris Lasch, 2006	236
Figura 4.11: Mile Spiral, Benjamin Aranda e Chris Lasch, 2006	237
Figura 4.12: Mile Spiral, Benjamin Aranda e Chris Lasch, 2006	237
Figura 4.13: Nova estação de Florença, Arata Isosaki, 2003	239
Figura 4.14: Projeto Honeycomb Morphologies, Andrew Kudless, 2003	240
Figura 4.15: Estudo morfogenético, Ernesto Bueno, 2003.....	242
Figura 4.16: The Radiolarian Pavilion, Ernesto Bueno, 2010.....	243
Figura 4.17: Variações da gramática da forma das Casas Malagueiras	249
José Duarte, 2002	249
Figura 4.18: Seixo parametrizado, City Hall, Londres, Foster and Parteners, 1999-2001 ..	252
Figura 4.19: Análises de desempenho, City Hall, Londres, Foster and Parteners, 1999-2001	252
Figura 4.20: Intervenção no Edifício do Detran-SP	254
Figura 4.21: Intervenção no Edifício do Detran-SP	255
Figura 4.22: Intervenção no Edifício do Detran-SP	255
Figura 4.23: Intervenção no Edifício do Detran-SP	256

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ACADIA – Association for Computer Aided Design in Architecture

ASCAD – Arab Society for Computer Aided Design

BLOB – Binary Large Object

CAD – Computer Aided Design. Desenho Assistido por Computador

CAAD – Computer Aided Architectural Design. Projeto Arquitetônico Assistido por Computador

CAADRIA – Computer Aided Architectural Design in Asia

CAE – Computer Aided Engineering. Engenharia Assistida por Computador

CAM – Computer Aided Manufacturing. Manufatura Assistida por Computador

CFD – Computational Fluid Dynamics. Análise computacional da dinâmica de fluidos

CNC – Computer Numeric Control. Controle Numérico por Computador: termo usado para definir máquinas controladas por computador

eCAADe - Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe

FEIDAD – Far Eastern International Digital Design Awards

DAD – Digital Architectural Design. Projeto Arquitetônico Digital

FEA – Finite Element Analysis

FEM – Finite Element Method.

NURB – Non-Uniform Rational B-splines

SIGRADI – Sociedade Ibero-americana de Gráfica Digital

Pixel – Picture element. O menor elemento de um écran, representado como um ponto com uma cor específica e nível de intensidade

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	23
CAPÍTULO 1. DAS FERRAMENTAS E A REPRESENTAÇÃO NA ARQUITETURA	31
1.1 A Arquitetura e suas ferramentas: algumas relações.....	38
1.2 Da Representação Analógica à Digital	41
CAPÍTULO 2. O PERÍODO DE GESTAÇÃO	61
2.1 O foco na metodologia de projeto.....	63
2.2 1960-1970: A Máquina de desenhar	66
2.2.1 Das idéias à prática: três aplicações pioneiras do computador na arquitetura	87
2.2.2 As promessas e desapontamentos da primeira geração de arquitetos digitais	95
2.3 1980 - 1990: do CAD ao CAAD	101
2.4 A ruptura	108
2.4.1 A ruptura técnica	113
Nurbs	113
Topologia.....	117
Parametrização	122
Algoritmos	127
Algoritmos	128
2.4.2 A ruptura conceitual	129
CAPÍTULO 3. O PONTO DE INFLEXÃO	145
3.1 A repetição infinita de Peter Eisenman.....	147
A Casa Guardiola	153
3.2 A experiência de Frank Gehry	157
3.2.1 A primeira experiência: o Peixe de Barcelona	160
3.2.2 O Museu Guggenheim de Bilbao	163
3.2.3 Adaptação ao gestual.....	165
3.2.4 O papel das maquetes físicas	167
3.2.5 Digitalizando	170
3.2.6 Digital Master Model (Modelo Mestre Digital) ou BIM (building information modeling) 173	173
3.2.7 Racionalização/ Legitimização	183
3.2.8 Análise de desempenho.....	188
3.2.9 Diagrama-resumo.....	196
3.3 O Efeito Bilbao	197
3.4 A mudança na noção de representação.....	199
CAPÍTULO 4. FRATURAS METODOLÓGICAS NAS ARQUITETURAS DIGITAIS.....	213
4.1 As modalidades digitais	226
4.1.1 Arquitetura Paramétrica	227
4.1.2 Arquitetura Algorítmica.....	232
4.1.2 Arquitetura Algorítmica	233
4.1.3 Gramática da Forma	248
4.1.4 Arquitetura baseada em desempenho	250
4.2 O arquiteto como construtor de suas ferramentas	256
4.3 Dimensões ocultas das formas geradas digitalmente	259
CONCLUSÕES	263
REFERÊNCIAS.....	268
Crédito das Figuras	277
ANEXO I.....	284
ANEXO II.....	292
ANEXO III.....	294
ANEXO IV	297

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo investigar as mudanças ocorridas na metodologia de projeto arquitetônico em função da incorporação do computador como ferramenta auxiliar na concepção de projetos. Parte do princípio de que existe relação íntima entre a ferramenta empregada, a metodologia adotada e a forma arquitetônica. Mais especificamente, investiga os casos onde o computador não é empregado como ferramenta de representação, mas associado ao processo criativo, causando interferências diretas nas formas dos edifícios. Neste processo, que deu origem às chamadas “arquiteturas digitais” (Zellner, 1999), a nova ferramenta digital é usada para gerar formas e efetuar transformações sobre elas, por meio de processos exclusivamente digitais onde são estabelecidas novas relações entre ferramenta e projeto em função do digital.

O tema central deste trabalho gira em torno das técnicas únicas do reino digital empregadas na etapa conceptiva. Nesse sentido, a tarefa primeira foi discernir as arquiteturas onde somente se utiliza o digital daquelas onde o uso do digital se converte em práticas paradigmáticas, seja pelo evidente formalismo, seja pelo uso pragmático. Em outras palavras, foi necessário **diferenciar o digital na arquitetura das arquiteturas geradas com base no digital**. Em suma, pode-se dizer que se trata de estudar as arquiteturas onde as técnicas digitais são parte indissociável de suas propostas. Faz parte do interesse da pesquisa se fixar nos aspectos mais representativos que demonstram tanto o processo quanto o resultado das aplicações das novas tecnologias nas representações arquitetônicas.

O surgimento dos computadores da década de 1960 determina o recorte temporal na segunda metade do século XX. Torna-se necessário enfatizar que o objetivo dessa investigação não é descrever a história dos meios digitais de representação, muito embora as referências históricas sejam necessárias para se compreender o fenômeno digital de modo mais abrangente. Compreender o papel do desenho e das técnicas de representação ao longo da história e como ele tem sido alterado pelo digital permite entender a gênese de certas mudanças no processo de projeto. Afinal, o desenho é um recurso que serve tanto para comunicar quanto para imaginar e transmitir a arquitetura. Portanto, cabe refletir sobre a temática dos processos de projeto, vinculados às suas representações gráficas, ou seja, examinar os bastidores técnicos de geração da forma para investigar de que modos incidem em sua representação. Para isso, a dissertação se estrutura a partir da análise de

produção arquitetônica, fundamentalmente em nível projetual, para refletir a partir daí sobre as incidências e contribuições das novas tecnologias na arquitetura contemporânea.

Nas últimas duas décadas, as tecnologias da informação estenderam sua existência a praticamente todos os âmbitos de nosso cotidiano. No caso da arquitetura, a incorporação da informática não se limitou à substituição do lápis pelo mouse. O computador é uma verdadeira caixa de ferramentas, que se contrapõem às ferramentas analógicas fundamentalmente pelo potencial embutido. São vários os tipos de ferramentas digitais, que acompanham diversos propósitos, aplicações, usos e finalidades, todas mutuamente conectadas e compartilhando entre si as informações pela rede mundial de computadores. Sejam por meio de software de prototipagem rápida, de ferramentas de sensores para simulação de ambientes em realidade aumentada, nos progressos da geração da forma por processos exclusivamente digitais ou das técnicas de representação com modelagem computacional, todas essas ferramentas têm consubstanciado transformações permanentes tanto na aparência dos edifícios quanto no próprio aspecto criativo no dia-a-dia da profissão.

Essa renovação do instrumental, referida por muitos como ‘revolução digital’, têm provocado reverberações profundas na arquitetura, comparáveis às transformações ocasionadas pela Revolução Industrial nos Séculos XIX e XX. Com efeito, muito além das evidentes vantagens que oferecem os sistemas digitais em relação às ferramentas tradicionais, é perceptível que as novas ferramentas digitais têm gerado o novo repertório formal que antes, dada a sua complexidade geométrica, havia sido imaginado somente pelos arquitetos mais criativos e não ao alcance de um botão. De maneira análoga ao extenso debate que acompanhou a Revolução Industrial e que está na base da arquitetura do Século XX, a discussão a cerca das possíveis consequências dos usos das tecnologias digitais sobre o físico tem se dado em terrenos profundos. A temática sugere diferentes perspectivas, fato comprovado pelas múltiplas abordagens sobre o tema do digital, desde estudos sobre as regras compostivas vernaculares, passando por observações do cotidiano digital como William Mitchell e finalmente, a cerca do potencial de criação que ferramentas podem trazer como Greg Lynn, Marcos Novak, Terzidis Kostas, o grupo holandês Nox, e tantos outros “arquitetos digitais” (Dollens, 2002) em número cada vez maior.

Desde a década de 1960, quando foram desenvolvidos os primeiros sistemas gráficos computacionais, as ferramentas digitais vêm sendo incorporadas aos poucos na prática projetual da arquitetura, ampliando progressivamente sua gama de possibilidades e os modos de dialogar com outros mecanismos tecnológicos. Nesse ciclo de aprimoramento

progressivo, também melhoraram substancialmente os elementos de justaposição com os meios físicos tradicionais. Nesse sentido, os limites entre as ferramentas analógicas e digitais estão sendo borrados, deliberando a maior fluidez entre as mídias. Ao longo dos 40 anos desde as primeiras experimentações, o digital na arquitetura se consolidou como fenômeno singular, tendo sido tratado tanto no domínio operacional quanto filosófico, tornando viável a formulação da base analítica para confrontar as promessas de revolução a partir das novas formas com a materialização construtiva. Agora podemos revisar criticamente as novas formas geradas, estudar a reorganização dos processos de trabalho e analisar também como a incorporação destas novas tecnologias no ato conceptivo tem modificado a arquitetura.

A ênfase na relação entre tecnologia e arquitetura, apesar de não ser nova, perpetua a ‘tradição do novo’ segundo a qual a inovação na arquitetura reflete as inovações técnicas que a inspiraram. A relação entre a tecnologia e a arquitetura tem assumido desde a tradição moderna o papel cada vez mais fundamental. “Tendo abandonado o discurso do estilo, a arquitetura dos tempos modernos é caracterizada pela sua capacidade de aproveitar as inovações que a ciência e a técnica do tempo presente oferecem como conquistas específicas desta mesma modernidade” (Solà-Morales, 19954). Nesse contexto, a relação entre “nova tecnologia – nova arquitetura” (Solà-Morales, 1995) também é um aspecto fundamental das chamadas arquiteturas de vanguarda digital; tão fundamental que constitui um motivo dominante ainda que difuso na figuração de novas arquiteturas. Esta tradição que vigora desde o Movimento Moderno parece ter sido baseada no modelo conceitual de que “as novas tecnologias constituem o ponto de partida para novas arquiteturas. As sucessivas inovações técnicas seriam as alavancas das sucessivas inovações na arquitetura” (Solà-Morales, 1995).

As transformações vindouras com as tecnologias da informação têm sido particularmente relevantes nos processo de criação, produção e comunicação. Os limites do tangível têm sido tão alargados de tal maneira que têm impulsionado o nosso imaginário. Frente ao crescente grau de complexidade do mundo que nos rodeia, é evidente que nossa resposta como arquitetos não poderia ser outra que não assumir a crescente complexidade com a possibilidade de espelhar os processos de investigação, concepção, projeto e construção que se configuram. É necessário concordar com Mitchell (2005) que o aspecto formal complexo das arquiteturas produzidas pela vanguarda digital suscita perguntas inevitáveis: ‘como foi feito?’, ‘como foi imaginado?’, ‘que instrumentos foram utilizados?’ Nesse contexto, não é de se estranhar que grande parte dos temas surgidos orbite em torno da capacidade

nas novas ferramentas, agora digitais.

A proximidade do final dos anos 2000 traz o ápice do debate sobre o nicho da *metodologia de projetos* fundamentada pelo digital, aspecto eleito como o foco primordial do presente estudo. Até aqui é possível observar duas frentes principais: enquanto uma vertente utiliza a representação digital para desenhar o projeto ao final, reservando a ideação inicial aos croquis e maquetes analógicas, outra vertente tem avançado na idéia de concepção de projetos totalmente digitais. Em ambos os casos, os modelos digitais assumem papéis distintos no processo, por vezes similares aos meios tradicionais, mas sem deixar de abrir novas vias de expressão arquitetônica. Contudo, é no segundo caso, nas novas maneiras de se apropriar do terreno digital que tem surgido as formas e idéias mais instigantes. É a partir dessa nova abordagem que tem se delineado possíveis novos paradigmas na Arquitetura. Portanto, é sobre ela que se desenrola essa dissertação.

Não obstante, as muitas oportunidades que surgem com a difusão da conectividade digital cada vez mais penetrante, ligada não só à representação como também à experimentação arquitetônica, tendem a desaparecer em meio ao ‘know-how’ técnico, quando forçadas à autonomia em relação às questões próprias da arquitetura. Portanto, a pesquisa aqui apresentada buscou o que está por trás dos conhecimentos computacionais, a fim de isolar certos conceitos para demonstrar mais precisamente possível as possibilidades das ferramentas digitais e os principais parâmetros envolvidos. Isso deixa clara a intenção de tratar as arquiteturas digitais não como ‘assunto puramente conceitual’, mas como uma possibilidade tecnológica concreta dentro da disciplina. No entanto, a abordagem ‘técnica’ não exclui nem a consideração dos conceitos embebidos na nova produção, tampouco o posicionamento crítico. Nesse sentido, também figura com um dos objetivos primordiais deste estudo, indicar o ‘*fazer digital*’ com o intuito de trazer à tona a indagação sobre com que a relevância o digital se insere na prática do arquiteto contemporâneo.

A análise dos processos metodológicos através dos quais as formas são geradas digitalmente permite revisar esta realidade de maneira mais completa e, portanto, crítica. Assim torna-se possível indicar o peso do digital para além da construção gráfica ou do discurso exclusivamente conceitual, concentrando-se na *matéria de projeto*. É nessa direção que se orienta esse trabalho: entender os processos de transformação do projeto no curso de sua elaboração, inventariar as técnicas exclusivamente digitais, apreender por meio da prática como algumas idéias têm se materializado nas formas, compreender quais transformações têm se dado no nicho da representação gráfica que tem tornado esse tema

um dos aspectos mais questionados nas transformações em curso. Investigar as técnicas por trás das formas em consonância com as fundamentações teóricas acerca das novas tecnologias permite ir além do serviço de informação sobre o software. Pode ajudar a compreender a arquitetura que emerge dos computadores em meio ao contexto teórico correspondente para assim transcender à análise iconográfica das novas formas atrativas.

Balizada por estes princípios, a presente dissertação foi estruturada da seguinte maneira. No Capítulo 1 – *Das ferramentas e a representação na Arquitetura*, o olhar para a história permite rastrear em linhas gerais a construção da relação de dependência entre ferramentas da arquitetura, artefatos gráficos produzidos e a forma dos edifícios. Tem como ponto principal a constituição de um paradigma que costurou esses três elementos presentes no ato conceptivo durante séculos e que foi interrompido com o advento do computador como nova ferramenta. O tratamento deste evento como uma interrupção e não como uma passagem não significa que as inovações tecnológicas tenham sido absorvidas de pronto. O longo período de desenvolvimento tanto da ferramenta-computador em si, quanto o turno do pensamento analógico para o digital são retratados no Capítulo 2 – *O período de gestação*, que enlaça alguns aspectos da progressão de máquinas, técnicas e pensamentos para compor um arcabouço técnico e teórico das arquiteturas digitais. O texto se estrutura como um processo de assimilação do digital entre seu tempo de reflexão e reflexo na arquitetura, desde o vislumbre da possibilidade do digital na arquitetura, nos anos 1960-1970, chegando ao momento de ruptura nos anos 1990, quando surgiram novas técnicas digitais que incitaram a associação entre processo criativo potencial do mundo digital.

Na continuação dessa trajetória, a construção do Museu Guggenheim de Bilbao (1991-1997) de Frank Gehry é identificado um momento divisor de águas, que alterou os rumos da história das arquiteturas digitais. Este momento é assunto do Capítulo 3 – *O ponto de inflexão*, onde é detalhado, na medida do possível, o emprego das tecnologias digitais. A importância dessa obra reside na articulação entre potencial artístico de representação do mundo digital identificado no período de ruptura, mas dessa vez em continuidade com técnicas construtivas, tornando as arquiteturas digitais viáveis do ponto de vista material. A ênfase neste capítulo se justifica porque as técnicas ali descritas compõem a base técnica construtiva das arquiteturas digitais de modo geral.

Na esteira do ‘efeito Bilbao’, o Capítulo 4 – *As fraturas metodológicas*, busca a consolidação das técnicas e conceitos desenvolvidos ao longo do percurso arquitetônico sobre o território digital, permitindo a extração de fundamentos para traçar as linhas mestras de um mapa no

qual podemos ler as implicações do digital na arquitetura contemporânea. Isso significa que, por um lado, se trata de assinalar os aspectos relevantes – novos conceitos, processos e meios a partir da análise de projetos. Por outro lado, busca fornecer uma visão de conjunto, favorecendo a observação do fenômeno digital desde um ponto de vista suficiente que permita reunir os casos mais paradigmáticos de transformação global. Longe da possibilidade de esgotar o tema, dada a inconsistência peculiar dos territórios digitais, este método permite a localização de técnicas e aplicações mais significativas para entender sua confluência, como uma maneira de investigar os territórios digitais e assim nos tornarmos mais conscientes do potencial que temos em mãos e assumi-lo.

A análise das novas tecnologias no processo de projeto, representação e visualização, mas especialmente à questão metodológica, forma parte de uma investigação ainda insípiente mesmo em seu recorte geográfico de origem. No Brasil, segundo pesquisa dos professores Charles Vincent e Eduardo Sampaio Nardelli apresentada ao Congresso da Sigradi (2009) a atualização tecnológica da instrumentalização de projeto tem passado ao largo. Poucas faculdades trazem o debate mais profundo sobre a arquitetura do digital em seu currículo de graduação. Quando muito, estão concentrados em círculos de pesquisa isolados, enquanto que na Europa, Estados Unidos, Japão, Coréia, China, Austrália, há pelo menos 10 anos o digital tem tomado parte cada vez mais significativa da grade curricular da graduação. No mundo globalizado, a educação superior deve ser orientada para a formação de indivíduos globalmente competitivos. Isso inclui o domínio sobre os instrumentos de trabalho do arquiteto condizentes com a realidade tecnológica do momento. Por outro lado, essa contemporização coloca o Brasil em certa posição privilegiada. Depois de três décadas de prática digital no mundo, certo número de edifícios concebidos digitalmente já foram construídos, tornando possível avaliá-los criticamente, aprender com seus erros e acertos e absorver o que convier à realidade brasileira. Esta dissertação pretende fornecer substratos iniciais sobre a prática de projeto em meios digitais. Convida futuros pesquisadores à revisão crítica do assunto, ao mesmo tempo em que fornece subsídios iniciais para a adaptação à realidade brasileira.

CAPÍTULO 1 – DAS FERRAMENTAS E A REPRESENTAÇÃO NA ARQUITETURA

CAPÍTULO 1. DAS FERRAMENTAS E A REPRESENTAÇÃO NA ARQUITETURA

Desde o Renascimento, a arquitetura olhou para as ciências com o intuito de formalizar seus conceitos sobre forma e espaço. Da arquitetura renascentista com a perspectiva e a visão antropocêntrica do mundo, atravessamos o projeto moderno, dominado pelo determinismo nas relações entre meios e fins, e agora nos vemos diante das complexidades da visão sistêmica e do paradigma digital. Por trás de cada um desses momentos, os arquitetos se utilizaram de poderosas **ferramentas técnicas** que nunca são neutras. Por trás delas, sempre há técnicas e tecnologias sintomáticas das novas formas de conhecimento e entendimento do mundo.

A análise dessas ferramentas sob o prisma da técnica e da tecnologia conjugadas com a cultura da época fornece valiosas lições para o entendimento das novas arquiteturas que emergem dos computadores, orientadas pela nova cultura digital emergente, a “*cibercultura*” (Lévy, 1999). Esse novo status sócio-cultural foi definido pelo filósofo da rede Pierre Lévy (1999) como “o conjunto de técnicas (materiais e intelectuais), de práticas, de atitudes, de modos de pensamento e de valores que se desenvolvem junto com o crescimento do ciberespaço” (Lévy, 1999). Por sua vez, “*ciberespaço*¹” é definido pelo autor como o ambiente digital da tela do computador, estendido à rede de interconexão mundial dos computadores.

De acordo com o especialista em estética digital, Mario Costa (in Parente, 2004), todas as visões artísticas são profundamente enraizadas nas lógicas intrínsecas às técnicas e às mídias. Cada nova técnica dá lugar a novos processos formais. Consequentemente, são abertos novos leques de oportunidades que artistas e designers são convocados a explorar, percorrer e esgotar, reiniciando o ciclo com novas descobertas. Com esse raciocínio, Costa conclui que “a história das artes é essencialmente a história dos meios técnicos, da emergência de suas possibilidades específicas de produção (...)” (Costa in Parente, 2004).

¹ O neologismo 'ciberespaço' (*cyberspace*) é atribuído a W. Gibson, que o teria cunhado no romance *Neuromancer*: “Ciberespaço. Uma alucinação conceitual experimentada diariamente por milhões de operadores em cada nação, por crianças sendo ensinadas conceitos matemáticos... Uma representação gráfica dos dados abstraídos dos bancos de cada computador no sistema humano. Inconcebível complexidade” (Gibson, 1984).

Como resultado, “a qualidade e o significado da obra de um artista são largamente pré-condicionados pelo momento tecnológico no qual ele trabalha” (Costa in Parente, 2004).

Por outro lado, para Pierre Lévy as técnicas nunca são invenções neutras e distanciadas, isentas de matéria cultural. Segundo esse autor, “por trás das técnicas há ações e reações entre idéias, projetos sociais, utopias, interesses econômicos, estratégias de poder e toda a gama dos jogos e homens em sociedade. Portanto, qualquer atribuição de um sentido único à técnica só pode ser dúbia. A ambivalência ou a multiplicidade das significações e dos projetos que envolvem as técnicas são particularmente evidentes no caso digital” (Lévy, 1999).

William Mitchell (1992) adverte que historiadores ou teóricos mais radicais geralmente argumentam que as inovações técnicas são resultantes de pressões sociais irresistíveis. Mas esse argumenta falha, por exemplo, ao observar que a fotografia química surgiu exatamente no século do Realismo e do Positivismo. Segundo Mitchell (1992), as inovações técnicas emergem de modo autônomo e criam novos potenciais culturais e sociais. Cita como exemplo a frase de Erwin Panofsky sobre o cinema: “Não foi o impulso artístico que deu origem à descoberta e aperfeiçoamento gradual de uma nova técnica; foi a invenção técnica que deu origem à descoberta e aperfeiçoamento gradual de uma nova arte” (apud Mitchell, 1992). De uma maneira ou de outra, é possível identificar certos momentos históricos quando a cristalização repentina de novas tecnologias (como a pintura, a fotografia ou computação) forneceu o núcleo para novas práticas sociais e culturais e marcou o início de nova era de exploração artística (Mitchell, 1992). Assim como a pintura cedeu espaço para a fotografia ao final da década de 1830, o início dos anos 1990 marcou o princípio das manipulações digitais das imagens fixas tiradas com câmeras fotográficas.

Ao longo dos séculos, as demandas complexas das atividades culturais, sociais e tecnológicas contribuíram para o desenvolvimento da Arquitetura como uma forma de conhecimento. Como qualquer atividade do gênio humano, a produção da arquitetura abrange de maneira indissolúvel interações entre pessoas vivas e pensantes, entidades materiais e artificiais, idéias e representações. A reflexão sobre a grande quantidade de variáveis com as quais o arquiteto tem que lidar durante o projeto, levou Robert Venturi a declarar que “a arquitetura é um todo complexo” (1995). Nesse sentido, as questões de arquitetura que sobressaltam a cabeça do designer durante o processo de projeto nunca podem ser consideradas *puramente* técnicas, econômicas ou culturais.

No artigo *O fim do clássico* (1984 in Nesbiit, 2006) publicado originalmente na revista *Perspecta*, o arquiteto Peter Eisenman, considerado um dos teóricos mais importantes dos anos 1990, afirmou que a arquitetura está vinculada às “três ficções” que perduram na disciplina desde o Renascimento até hoje: *representação, razão e história*. Cada uma delas é dotada de intenções próprias. A representação manifesta aspectos de significado ligados à **cultura**. A razão é definida como a “busca da verdade” expressa através da **técnica**, que significou entre outras coisas, a reciprocidade entre as ferramentas utilizadas para representar os espaços e a forma arquitetônica resultante. Por último, a história define a noção de constante mudança que, no entanto nunca é neutra, é sempre influenciada pela **sociedade** que a personifica e interpreta².

As afirmações de Eisenman acentuam a impossibilidade de separar o humano do seu ambiente material, bem como dos signos e das imagens por meio dos quais ele atribui sentido à vida e ao mundo. Da mesma forma, o mundo material e especialmente sua parte artificial, isto é, interpretada e modificada pelo homem, “não pode ser separado das idéias por meio das quais os objetos técnicos são concebidos e utilizados, nem dos humanos que os inventam, produzem e utilizam”. (Lévy, 1999) Em outras palavras, o produto tecnológico é intimamente influenciado pelo ambiente no qual foi produzido.

Pierre Lévy (1999) utilizou o mesmo tripé de Eisenman, **técnica, cultura e sociedade**, na sugestão de que essas três entidades compõem o ambiente material humano. No lugar de pensar em *impacto* de uma sobre a outra, Lévy sugere a noção de *condicionamento*. Assim, as tecnologias não *impactam* a sociedade e a cultura, mas são *produtos* delas. Da mesma forma, quando determinada técnica é produzida dentro de certo ambiente cultural, a sociedade é *condicionada* por essas técnicas. A distinção entre uma entidade e outra é, portanto, simplesmente conceitual, não havendo relações de *causa* entre uma e outra, mas de dependência mútua. Tais argumentos foram sintetizados pelo autor da seguinte maneira:

“As verdadeiras relações, portanto, não são criadas entre “a” tecnologia (que seria a ordem da causa) e “a” cultura (que sofreria os efeitos), mas sim entre um grande número de atores humanos que inventam, produzem, utilizam e interpretam de diferentes formas as técnicas” (Lévy, 1999).

² Ressalta-se que a tentativa de Eisenman era de se desfazer dessas questões na arquitetura, que ele chama de “classicismo falso”.

O mundo dominado por ferramentas digitais e pela interconexão mundial de computadores viu surgir arquiteturas também pautadas pelo digital. Seguindo o rastro dos expressionismos formais e tecnológicos modernos e das investigações cenográficas pós-modernas, o primeiro resultado significativo das aplicações do computador no design arquitetônico esteve mais relacionado com os aspectos formais e estilísticos (Meredith, 2008). Arquitetos como Marcos Novak, Greg Lynn e Peter Eisenman foram alguns dos primeiros a empregar o computador na geração de novas formas complexas, explorando novas possibilidades operativas que essa máquina permitia. Mais tarde, as questões se deslocaram para a exploração da capacidade das novas tecnologias em redefinir os meios pelos quais a arquitetura poderia ser concebida e produzida. No centro do debate estão as **ferramentas digitais**, junto com todas as questões que envolvem a nova mídia arquitetônica, agora digital e das possibilidades de criação de novas formas sem precedentes dentro do ciberespaço. Segundo Ignasi de Solà-Morales (1995), “a relação das novas tecnologias - nova arquitetura é endossada como aspecto fundamental no que chamamos de arquiteturas vanguardas, por isso tem sido um tema difuso, mas dominante no pensamento dos inovadores e na figuração das novas arquiteturas”.

Assim, a vanguarda arquitetônica ao fim do Século XX testemunhou nos anos 1990 o surgimento das arquiteturas computacionais (Kolarevic, 2000), também chamadas de **arquiteturas digitais³** (Zellner, 1999) ou ainda **arquitetura eletrônica** (Garofalo, 1999). Foram assim chamadas aquelas arquiteturas cuja elaboração e manipulação da forma tiveram como plataforma as ferramentas digitais ou softwares específicos para o desenho e modelagem. O computador não é empregado como ferramenta de representação, mas associado ao processo criativo, causando interferências diretas na forma, muitas vezes de maneira imprevisível. Nesse sentido, a nova ferramenta digital é usada para gerar formas e efetuar transformações sobre ela com certa autonomia, num processo onde são estabelecidas **novas relações entre ferramenta e projeto em função do digital**, tema central dessa dissertação.

É importante pontuar que o termo ‘arquiteturas digitais’ é algo impreciso. Talvez o termo mais apropriado fosse “arquitetura gerada por técnicas digitais ou nas quais se intervém as ferramentas digitais” (Portella, 2006). O exercício profissional do arquiteto caminha para a constatação da inevitabilidade do uso de computadores na disciplina de modo cada vez mais visceral. É cada vez mais difícil encontrar hoje escritórios de arquitetura que não utilizem os

³ Neste trabalho será adotado o termo arquiteturas digitais.

sistemas CAD⁴ em pelo menos uma etapa de sua produção. Apesar de muitos escritórios ainda incluírem em suas apresentações belas perspectivas manuais muitas vezes retocadas em programas de edição de fotos, as maquetes eletrônicas e as plantas humanizadas no computador dominam a cena. Raramente um projeto executivo é realizado à mão, com régua paralela, par de esquadros e compasso. Em se tratando de grandes obras, a chance tende a ser nula. Como disse Weissberg (in Parente, 2004), assim como não há possibilidade de ‘desalfabetização’, tampouco é possível a ‘desdigitalização’.

Nesse sentido, o termo ‘arquiteturas digitais’ é adotado nessa dissertação para diferenciar as arquiteturas nas quais somente se utilizam as ferramentas digitais daquelas onde o uso do digital está presente na concepção avançada do pensamento e prática arquitetônicos de maneira paradigmática. Caso contrário, haveria de se falar de todas. O uso do computador por si só não configura a produção de arquiteturas digitais. A natureza do desenho ‘verdadeiramente’ digital é diferente da representação de um desenho analógico em meio eletrônico. No **projeto digital**⁵, o processo conceptivo se dá através de padrões descritivos e a articulação destes padrões em novas entidades a serem utilizados por um computador. O digital está presente na realização da arquitetura com auxílio visceral das propriedades de computadores e não na natureza intrínseca da aparência de seus produtos. ***Em outras palavras, arquiteturas digitais dizem respeito a processos e não a produtos.*** Dessa maneira, as formas das arquiteturas digitais não são concebidas e desenhadas no sentido convencional desses termos. Tampouco partem de estruturas formais bem definidas, como por exemplo, os cinco pontos do Modernismo. Elas são derivadas de operações possíveis somente nos domínios do computador.

No entanto, a clara tendência formalista não esvaziou as arquiteturas digitais de conceitos e ideologias. Ao contrário, as experimentações e transformações na prática de projeto têm originado novas idéias sobre arquitetura que extrapolam a função das ferramentas digitais como novos instrumentos de representação em substituição à tradicional prancheta e régua ‘T’. Deste modo, assim como preconizaram Francesco de Luca e Marco Nardini (2002), considerar esses processos de mudança somente do ponto de vista ‘material’ da tecnologia seria um erro. Novos conceitos ‘imateriais’ da arquitetura podem deter as chaves para se entender as origens da nova arquitetura desenvolvida com o uso do computador. As novas tendências no design arquitetônico “devem ser examinadas a partir dos novos métodos de

⁴ Computer Aided Design.

⁵ O termo proposto como tradução para “digital design” sugerido por Rivka Oxman (2008).

utilização das ferramentas arquitetônicas de comunicação, construção e experimentação com técnicas computacionais, sem subestimar as origens conceituais que levaram à formalização dessas idéias” (de Luca; Nardini, 2002).

A aparente irreconciliabilidade entre os métodos tradicionais e demandas da era digital impulsionou teóricos a buscar em leques mais amplos do conhecimento o substrato teórico-conceitual mais específico, aplicável às arquiteturas digitais. Os textos e novas teorias surgidas primeiro nas vozes de Marcos Novak, John Frazer, Peter Zellner, Greg Lynn, William Mitchell e Peter Eisenman refletem os questionamentos sobre a natureza do novo espaço transformado pelo digital. O objetivo, segundo esses “arquitetos digitais” (Dollens, 2002), não é gerar formas aleatoriamente, mas rediscutir aspectos da disciplina à luz das novas possibilidades tecnológicas que se apresentam. Suas reflexões produziram novas formas arquitetônicas que correspondessem à natureza amorfa do ciberespaço. Assim, a nova arquitetura surge permeada por novos conceitos, como, por exemplo, “arquitetura líquida” (Novak, 1998), “transarquitetura” (Novak, 1998) “hipersuperfície” (Perrella, 1998) e arquitetura “smooth” (Lynn, 1993). Como consequência, “a arquitetura está se reinventando e tem se tornado em parte uma investigação experimental de geometrias topológicas, parcialmente uma orquestração computacional de robótica e parcialmente uma escultura generativa, cinética do espaço” (Zellner apud Kolarevic, 2003).

O termo “arquiteturas digitais” usado no plural por esses arquitetos reforça a noção de que não há movimentos monolíticos na vanguarda digital da arquitetura. A postura experimentalista conduziu o foco das investigações ao processo conceptivo. O resultado pode ser verificado na multiplicidade de abordagens inerente às lógicas dos conceitos oriundos da computação, da filosofia e das ciências, muitas vezes inéditos na arquitetura. A base conceitual dessas arquiteturas é orientada por novas abordagens sobre fluidez, dinâmica, conectividade e dobras nos espaços. As novas técnicas de representação empregadas incluem geometria topológica, deformação de blobs⁶, parametrização e o novo repertório de linhas **nurbs**⁷ (Kolarevic, 2003).

A abundância de ideologias somada à pluralidade de tendências culturais, própria da cibercultura, têm tornado a vida do arquiteto mais complicada, ao mesmo tempo em que cria novas oportunidades de expressão própria. Com a aproximação do final dos anos 2000, o

⁶ BLOB: Binary Large Object.

⁷ NURBS – Non-uniform Rational B-splines.

movimento digital na arquitetura deixou de ser pontual e passou a ser considerado como um rumo possível para a Arquitetura. Muitos edifícios onde foram utilizados os princípios da concepção digital têm sido construídos, com diferentes estratégias e propósitos além da mera questão formal. Apesar de ainda ser considerada uma prática de vanguarda, é possível identificar nessas obras uma série de novos princípios, tanto conceituais quanto técnicos, que começam a ser utilizados mais intensamente de maneira mais generalizada.

A esse ponto, torna-se inevitável perguntar se estamos, então, diante do novo paradigma da Arquitetura? Quais são as bases técnicas e teóricas mais amplas da nova arquitetura? Quais são os respaldos culturais e sociais que podem garantir se há efetivamente a mudança de paradigmas? Charles Jencks tem sido um dos principais teóricos dedicados à investigação dessas perguntas. O autor acompanhou os movimentos digitais na arquitetura desde seu início. Publicou pelo menos quatro obras importantes que abordam o assunto: *The Architecture of the Jumping Universe* (1997), *New Science, New Architecture?* (1998), *The New Paradigm in Architecture* (2002) e *Iconic Building* (2005), além de diversos artigos, nos quais procura averiguar os alicerces das mudanças observadas na vanguarda arquitetônica da década de 1990. O próprio Jencks não se arrisca em afirmar que as arquiteturas digitais representam o novo paradigma da arquitetura. Mas no livro *The New Paradigm in Architecture*, arrisca alguns comentários sobre o assunto. A pesquisadora Ana Paula Baltazar (2002) chamou a atenção para um detalhe importante no título desse ensaio. No lugar de novo paradigma **da** arquitetura, Jencks preferiu chamar de novo paradigma **na** arquitetura. Segundo Baltazar, o cuidado na escolha da preposição revela a preocupação de Jencks em não se comprometer em apontar qual seria o novo paradigma **da** arquitetura, indicando somente possíveis caminhos de entendimento.

Jencks indica que se há a possibilidade de um novo paradigma na disciplina, ele vem de campos externos à Arquitetura. Mais precisamente, “decorre da mudança mais geral nas ciências e na cultura” (Jencks, 2002: 210), orientadas por dois importantes paradigmas tecnológicos. O primeiro é o paradigma científico da *complexidade*, cujas contribuições até agora parecem se situar no campo teórico e conceitual, com repercussões na forma arquitetônica. Muito mais referenciadas às mudanças sócio-culturais precipitadas pelo tema da complexidade do que à noção de complexidade nas ciências, forneceram subsídios para a reação contra o Modernismo. O segundo é a mudança do paradigma mecânico para o eletrônico, iniciado em meados do Século XX, e que tem fornecido as *ferramentas técnicas e tecnológicas* indispensáveis na nova arquitetura, fundada no digital.

É especificamente para esse segundo paradigma que a presente dissertação aponta. Assume como pensamento balizador a advertência de Jencks de que a verdadeira mudança do pensamento arquitetônico não é somente uma questão instrumental: “O computador pode ser muito importante e a mídia também, mas o conteúdo de ambos tem sido delineado por idéias, história e cultura. Acreditar no contrário é cair no determinismo tecnológico, naquela velha armadilha do Modernismo⁸” (Jencks, 2002).

1.1 A Arquitetura e suas ferramentas: algumas relações

Toda obra de arquitetura começa com um pensamento, idéia, visão ou fantasia virtual. A construção desse pensamento, ou seja, o projeto pode adquirir como **ambiente de representação** ou **mídia** o papel, o computador ou a maquete física. O termo “mídia” em arquitetura foi definido por Osman Ataman (2000) como a ferramenta ou combinação de **ferramentas usadas para gerar representações**, como desenhos, imagens e modelos. Ao longo da história da arquitetura, é possível perceber indícios que sustentem a hipótese da influência mútua entre ferramentas de representação e suas metodologias análogas sobre a forma arquitetônica. Como disse o autor David Perkins (apud Ataman, 2000), o potencial da relação entre mídia e design da arquitetura pode ser avaliado quando a **metodologia adotada** e as **características do ambiente de representação** são consideradas.

De acordo com Mario Costa, “em qualquer época, as mensagens culturais antropologicamente mais eficazes e mais significativas são aquelas que derivam das técnicas dominantes nessa época” (Costa in Parente, 2004). No livro *The medium is the Message* (1964) o especialista em comunicação de massa Marshal McLuhan desenvolveu o argumento de que as mudanças sociais sempre precederam as mudanças tecnológicas. Com sua frase inspirada “**primeiro nós moldamos as ferramentas; depois as ferramentas nos moldam**” McLuhan se referia ao fato de que as nossas práticas sociais co-evoluem com o uso de novos instrumentos e as adaptações que fazemos aos instrumentos existentes. Por trás de cada revolução tecnológica houve outra revolução sócio-cultural que criou o ambiente favorável para o seu desenvolvimento.

⁸ Original em Inglês. Toda a bibliografia nesta língua será traduzida pela autora.

Com efeito, para a Antropologia, as **ferramentas** estão entre os mais confiáveis instrumentos de medição do estágio de progresso humano. Os estágios mais primitivos da história da humanidade são identificados preliminarmente pelos tipos de ferramentas desenvolvidos e usados em cada período cultural, como por exemplo, a Idade do Bronze ou a Idade da Pedra. As ferramentas de cada um desses períodos revelam não só as realizações, mas também aspirações e limitações humanas (Rynd in Piedmont-Palladino, 2007). Em outras palavras, as ferramentas são indicativas não só do avanço tecnológico de determinada civilização, mas também revela aspectos sociais e culturais de cada uma delas. Como disse o filósofo francês Gilles Deleuze, “as máquinas são sociais antes de serem técnicas. Ou melhor, há uma tecnologia humana antes de haver uma tecnologia material”. (Deleuze, 1988).

A arquitetura possui ferramentas próprias para o seu desenvolvimento. Elas estão em todas as fases do processo de concepção de arquitetura, desde estudos da forma, solução de problemas de desenhos, análise de desempenho, representação, documentação e finalmente de construção. Cada ferramenta corresponde a cada estágio e cada tempo tem a sua ferramenta. Durante o processo de concepção, muitas ferramentas com objetivos distintos são utilizadas. Assim, os desenhos, maquetes e modelos digitais bem como os artefatos empregados para concebê-los, ou seja, papel, lápis, nanquim, mouse, tablet, mesa digitalizadora, scanners 3D são todos exemplos de ferramentas que podem ser aplicados na concepção de objetos arquitetônicos. O olhar sobre a história da arquitetura pelo prisma da ferramenta e dos métodos disponíveis para representar o espaço podem revelar importantes indícios para o entendimento da origem de determinados espaços.

O que torna as ferramentas da arquitetura particularmente atrativas é o fato de que elas não são instrumentos neutros. Ao contrário, trazem consigo o conhecimento científico sobre a nossa capacidade de entender e representar formas no espaço. De acordo com Mitchell (1992), isso significa que “as ferramentas são feitas para realizar nossos propósitos e, nesse sentido, elas representam desejos e intenções. (...) Ao escolher uma ferramenta em particular nós aderimos a desejos e manifestamos intenções.” (Mitchell, 1992). Esse pensamento reforça a noção de Perez-Gomez & Pelletier (2000) de que “para avaliar a produção de arquitetura, o primeiro passo é considerar que o valor agregado às ferramentas de representação da arquitetura está intimamente relacionado à concepção e realização do espaço”.

Para ilustrar esses pensamentos, o arquiteto e teórico Antonino Saggio (in Lindsey, 2001)

examinou e associou as regras geométricas e as ferramentas disponíveis em determinados tempos históricos à arquitetura produzida no período:

"Em que medida um objeto real deveria se assemelhar aos métodos disponíveis para representá-lo? Talvez essa pergunta revele o fato de que é conhecimento em si que o objeto arquitetônico representa. As regras básicas da trigonometria estão ilustradas nas pirâmides, os cálculos baseados na geometria estão na base do Panteão (...) e a perda da habilidade geométrica e aritmética é evidente no interior cavernoso da catedral Romanesca. Sem as regras da perspectiva não haveria o palácio ordenado da Renascença e sem os círculos do compasso as curvas de São Carlino ou Santo Ivo jamais teriam tomado forma. Finalmente, se também considerarmos as ferramentas, teremos uma chave para compreender a gênese de certos espaços." (Saggio in Lindsey, 2001)⁹.

Com esse exemplo, Saggio induz à conclusão de que a arquitetura encarna o entendimento do espaço, ou seja, é o próprio conhecimento científico que é construído materialmente. Não só o fato de as ferramentas e os objetos arquitetônicos construídos com essas ferramentas são intimamente conectados e mutuamente influenciados. A arquitetura também "reflete o nosso conhecimento sobre o espaço" (Saggio in Kolarevic, 2003).

Todos esses conceitos induzem à conclusão de que a importância das ferramentas utilizadas na concepção da arquitetura nunca esteve circunscrita à simples questão de representação gráfica. A construção de maquetes e desenhos são artes tão antigas quanto a própria Arquitetura, mas que sobreviveram em diferentes medidas. Portanto, o que progride, muda e evolui são as visões artísticas e as novas formas de se apropriar das tecnologias surgidas. Em diferentes épocas, arquitetos se utilizaram de ferramentas correntes de maneiras inovadoras. Os desenhos de Piranesi, de Boulleé ou as maquetes de Josep Maria Jujol (1879-1949) foram feitas com as ferramentas e recursos muitos mais simples e limitados do que os disponíveis hoje. A experimentação espacial no passado era tecnicamente mais limitada e estática, fato que não eximiu as manipulações espaciais desses arquitetos de nos maravilhar até hoje (Dollens, 2002).

⁹ Tradução: Otávio Lacombe (2006).

1.2 Da Representação Analógica à Digital

O pensamento arquitetônico geralmente está mais vinculado à noção de representação, isto é, ao **desenho** do edifício do que sua construção propriamente dita. Consequentemente, de modo geral as ferramentas da arquitetura são associadas àquelas destinadas à **representação** dos objetos arquitetônicos, seja numa aquarela, na tela do AutoCAD ou numa maquete. Não obstante, “desde o começo da arquitetura ocidental, fundada no classicismo grego, o arquiteto **não fez edifícios**, mas **produziu representações do edifício** que possibilitaram sua construção” (Perez-Gomez e Pelletier, 2000). Esses artefatos – desde instruções verbalizadas no terreno, desenhos de plantas ou maquetes – e suas relações com os edifícios produzidos não foi constante ao longo da história.

Isso pode ser explicado pelo fato de que “se houvesse uma história do projeto e representação em arquitetura sua estrutura seria diferente da história da arquitetura. é natural supor que o projeto e a representação e a arquitetura propriamente dita digam caminhos distintos, talvez paralelos, como dois fatos culturais que têm influências mútuas” (Barki, 2000). As representações de arquitetura podem ser consideradas fatos culturais, mas que, no entanto são intimamente relacionadas com a tecnologia e a própria visão de mundo.

Na arquitetura, a representação é particularmente importante porque, a representação tem sido objeto de investigação filosófica desde antes de sua formalização. O ponto principal é que o conhecimento é mais do que possuir e transmitir informações. A informação é processada, catalogada e armazenada pela mente humana de modo que possa ser resgatada em situações convenientes. “A representação do conhecimento, portanto, exige não apenas a representação simbólica de fatos, conceitos e crenças, mas também a representação do processo que as adquiri, interpreta e aplica nas circunstâncias adequadas” (Carrara; Kalay; Novembri, 1992). Portanto, “as características da representação são particularmente valiosas quando o substrato de representação é o *conhecimento*” (Carrara; Kalay; Novembri, 1992).

A maneira européia de ver o mundo medieval era calcada na imagem católica, que guiava a apreensão, representação e construção do mundo. A cartografia de Mercator, baseada na observação e medição in loco, assim como qualquer representação, envolvia uma carga técnica e ideológica que a determinava e, consequentemente, determinava seus próprios objetos (Virilio, 1999) Posteriormente, no Renascimento, a descoberta da perspectiva,

vinculada à transformação do pensamento revestido em tecnologia, confere nova relação com a maneira de ver o mundo, resultando em outro tipo de imagem.

Até a Renascença, ser arquiteto significava também ser construtor. O arquiteto era responsável não só pela concepção espacial do edifício, como também era profundamente envolvido na construção dos edifícios, atuando diretamente no canteiro. De acordo com o arquiteto Branko Kolarevic (2003), “o conhecimento das técnicas construtivas estava implícito na produção da arquitetura; inventar a forma do edifício implicava na invenção do seu meio de construção e vice-versa. A informação contida na forma era a informação da construção – uma implicava na outra”. Christof Thoenes (in Jodidio, 2003) explica que o Gótico, por exemplo, “estava solidamente ancorado na prática construtiva de seu tempo, as oficinas de pedreiros ou os locais de aprendizagem, onde os saberes e os saber-fazer – da construção à realização do pormenor decorativo – se transmitiam oralmente de geração em geração; o sistema evoluía por consequência de maneira orgânica, seguindo um ciclo de transformação quase natural (...).”

Durante esse período, os arquitetos não confeccionavam desenhos elaborados com ferramentas sofisticadas. Papel e tinta eram artigos relativamente raros na época (Pedmont-Palladino ed., 2007). Os desenhos executivos como conhecemos hoje não eram comuns e a noção de escala, fundamento básico da representação, era praticamente desconhecida (Perez-Gomez & Pelletier, 2000). Os únicos desenhos verdadeiramente indispensáveis na construção eram os gabaritos¹⁰, que serviam como modelos para assegurar a uniformidade da modulação e repetição das peças de cantaria. Esses desenhos eram considerados o segredo dos edifícios, portanto, eram guardados contra cópias (Perez-Gomez & Pelletier, 2000).

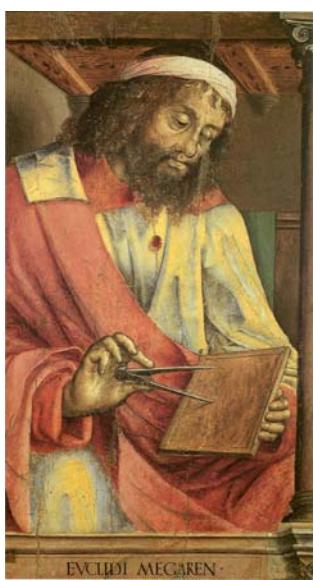
Até esse período, as ferramentas que o arquiteto usava eram basicamente aquelas empregadas na construção. Essa atividade era baseada em regras clássicas de proporção, sistemas de ordens e ornamentos e princípios geométricos que pudessem ser marcados diretamente no chão em tamanho real onde as paredes seriam alçadas. O método mais simples de traçar um ângulo reto sobre o solo era utilizar a proporção conhecida do triângulo 3-4-5. Os módulos dos edifícios eram formados com múltiplos, submúltiplos e combinações desse triângulo. Enquanto a edificação era erguida, os detalhes de fachada eram discutidos

¹⁰ No original, template drawings (Perez-Gomez & Pelletier, 2000: 7).

praticamente até o momento de sua construção. As instruções eram passadas verbalmente ou por escrito e dessa maneira a tradição construtiva atravessava as gerações (Perez-Gomez & Pelletier, 2000). Quando necessário, os arquitetos produziam maquetes, geralmente de madeira, para ajudar seus patrocinadores a compreender a obra.

A geometria, cuja raiz latina significa ‘*regras para medir a terra*’, cumpria o papel de transposição métrica, de proporções e regras de composição sem a necessidade do sistema de medidas abstratas. Assim, na impossibilidade de catar as plantas, as regras geométricas conhecidas até então eram suficientes para fornecer as dimensões e proporções. Nesse sentido, a geometria era empregada principalmente pelo seu caráter eminentemente prático, e não místico ou simbólico. O propósito era garantir a execução do projeto a partir do desenho de poucos traços que faziam referência a formas simples, como ângulos retos, círculos e triângulos equiláteros, de modo que pudessem ser reproduzidos em várias dimensões. O compasso funcionava como pivô das operações geométricas da arte de desenhar e de obter medidas para transpô-las durante as atividades do canteiro. O manuseio do compasso permitia que o arquiteto-mestre-de-obra estabelecesse regras de medidas e relacioná-las em proporção entre as partes sem recorrer aos cálculos. As prescrições de Vitrúvio, por exemplo, “encontravam-se reduzidas a regras de boa proporcionalidade dos alçados, (...) o cálculo das dimensões dos elementos de sustentação continuava a revelar, pelo menos no essencial, da experiência prática da arquitetura” (Thoenes in Jodidio, 2003). Como consequência, o ensino acadêmico da arquitetura ficaria polarizado na estética das proporções durante os séculos subsequentes.

Figura 1.1: Euclid of Megara (lat: Evklidi Megaren)
Pintura da série Homens Famosos, Justus de Ghent, por volta de 1474.



A maneira de conceber a arquitetura diretamente sobre o canteiro começou a ser modificada durante a Renascença. Em meados do Século XV Leon Battista Alberti escreveu seu grande tratado sobre arquitetura, *De re aedificatoria libri decem* ou *Dez Livros sobre Arquitetura*. Do tratado de Alberti, há dois pontos particularmente importantes: recuperou os três atributos básicos exigidos da arquitetura apresentados por Vitruvius¹ – *venustas*, *firmitas*, *utilitas* – traduzida como beleza, firmeza e utilidade¹ e que até hoje têm se demonstrado difíceis de substituir ou superar (Nesbitt, 1995) e definiu a profissão do **Arquiteto**, até então equivalente a mestre-construtor.

Nos escritos de Alberti, ele determinou que fosse chamado de arquiteto “aquele que souber por meio de correta e maravilhosa Arte e Método, com o Pensamento e a Invenção conceber e, com a Execução, levar a cabo todas aquelas obras que [...] com grande Beleza, podem acomodar-se todos os homens” (apud Nesbitt, 1995: 18). Com isso, Alberti diferenciou arquitetos e artistas de mestres-construtores e artesãos. O escopo do trabalho do arquiteto deveria ser mais intelectualizado, mais teórico e criativo, no lugar da prática do canteiro. Dali em diante, caberia ao arquiteto se ocupar em **desenhar** seus edifícios e não mais participar de suas construções como agente direto. A separação entre o ato de desenhar e o ato de construir foi chamado de “**paradigma Albertiano**” (Carpo in Vidler, 2008).

Esse novo paradigma representou grande desfio para os arquitetos. A partir desse momento, “os arquitetos deixaram de pensar arquitetura para pensar em como desenhá-la” (Nostrand apud Barki, 2000). Esse pensamento foi compilado na frase de Boulleé, “antes de conceber o objeto arquitetônico, o arquiteto deve ter uma imagem do projeto” (Feferman, 2003). Era na construção dessa imagem que se deveria erigir a essência artística. Isso significou a introdução de técnica inteiramente nova: a **representação da arquitetura** (Carpo in Vidler, 2008). Deveria ser realizada através de desenhos de teor técnico e científico que pudessem exprimir a idéia do edifício de modo que outros personagens pudessem executá-lo (Perez-Gomez & Pelletier, 2000). Enquanto “os desenhos dos edifícios góticos eram acompanhados de diretivas técnicas que, para serem traduzidas em idéias, requerem uma formação especial – destinadas originalmente apenas às ‘pessoas da construção’, ficavam fora do circuito comercial. Os arquitetos renascentistas treinaram-se efetuando relevos pormenorizados dos monumentos antigos com o propósito de os transportar como se apresentam à vista, em virtude das leis da ótica; ao fazê-lo, predestinam os seus desenhos à reprodução” (Thoenes in Jodidio, 2003).

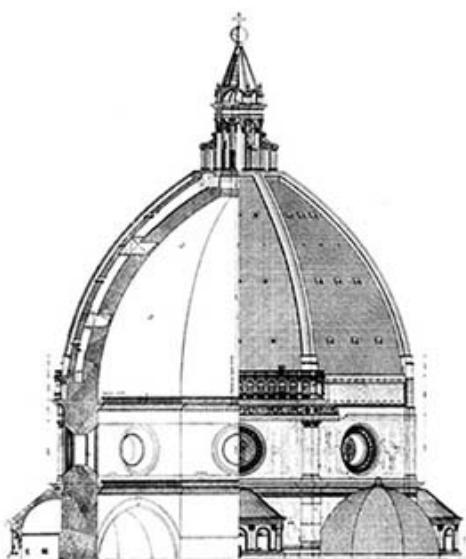
Em princípio, o paradigma Albertiano se deu no domínio teórico, em função da impossibilidade de absorção imediata da nova demanda. Mas a noção de representação trouxe enormes complexidades ao modo de produzir a arquitetura, cujas repercussões puderam ser percebidas ao longo dos séculos seguintes. Para expressar idéias arquitetônicas e representá-las por meio de desenhos, era necessário primeiro ter a noção completa do edifício. O objeto deveria caber no seu suporte de representação, portanto, deveria sofrer redução de modo que pudesse ser feita a correspondência em escala entre a idéia e o edifício construído. Assim, foi introduzida a noção de escala na arquitetura. Por sua vez, a descrição do objeto em escala no papel e a subsequente transposição para a

realidade física dependiam de regras geométricas que facilitassem essa correlação. Todas essas tarefas também demandavam ferramentas apropriadas para medir e desenhar.

Outra questão que levantada com a noção de representação, apesar de ser tão antiga quanto a própria arquitetura, foi o fato de edifícios serem objetos de três dimensões e o plano do papel, a mídia de suporte dos desenhos, possuir apenas duas. Alberti formulou sua teoria da representação dos objetos arquitetônicos a partir da leitura de Vitrúvius, a qual dizia que “só a projeção ortogonal reduzida a duas dimensões reproduz o objeto nas suas medidas exatas; a construção tridimensional resulta então da combinação de vários traçados desse tipo” (Thoenes in Jodidio, 2003).

Duas técnicas foram primordiais para a consolidação da representação de arquitetura: a **Perspectiva** e a **Geometria Descritiva**. A Perspectiva é frequentemente associada ao Renascimento, muito embora Erwin Panofsky (1999) tenha demonstrado sua existência desde a Antiguidade. No Renascimento, o incremento das técnicas de perspectiva, cuja raiz latina significa ‘ver através de’ foi postulada como ‘janela’ por Alberti em seu tratado *Da Pintura*. Essa descoberta conferiu nova relação com a maneira de ver o mundo, resultando em outro tipo de imagem, diferente das representações em planta que os mapas cartográficos forneciam (Virilio, 2005).

Figura 1.2: Cúpula de Brunelleschi, Florença, 1420.



As projeções da perspectiva são linhas retas direcionais que passam através do desenho. A projeção ortogonal é feita a partir da projeção perpendicular de uma dada superfície. Em projeções ortogonais há uma correspondência entre os dados bidimensionais e tridimensionais, onde o desenho aparece em escala. Desse modo, as projeções preservam a forma e o tamanho dos objetos quando estes são alinhados e perpendiculares a uma superfície de projeção. Essa correspondência

não existe quando não há paralelismo entre os objetos e o suporte de representação. Este é o caso das projeções ortogonais de objetos dotados de superfícies curvas, que não podem

preservar a forma e tamanho em escala.

A representação do espaço em perspectiva criou novo instrumento mediador entre sujeito e realidade. Uma fração do espaço é capturada pela janela perspéctica e representada no plano através da sobreposição de diagonais às coordenadas cartesianas para ordenar objetos e posicioná-los estaticamente, congelados no tempo. Assim, o espaço é descrito cientificamente no campo da abstração matemática. Esse novo método de representá-lo é revestido em tecnologia.

Há duas contribuições particularmente importantes que surgiram com a retomada da perspectiva no Século XV: a relação com o olhar enquadrado pela janela perspéctica, que resultou num certo tipo de imagem arquitetônica e o seu rebatimento nas obras subsequentes. Expressão simbólica dessa nova concepção de espaço é a cúpula de Santa Maria del Fiore, de Brunelleschi, cuja inovação se deu tanto na questão da construção autoportante quanto na representação do espaço perspectivado. Segundo Argan (apud Duarte, 1999), a construção da forma perspética é signo da cultura tecnológica renascentista.

Em meados do Século XVIII, o francês Gaspard Monge (1746-1818), geômetra nato, desenvolveu o método de descrição e posicionamento de objetos no espaço, cuja importância seria significativa para a consolidação das técnicas de representação da arquitetura. O método, batizado de **Geometria Descritiva** ou Mongeana, permitia a representação de objetos tridimensionais no plano bidimensional do papel bem como a localização de pontos no espaço sem precisar medir as distâncias.

O método consiste na projeção da imagem do objeto sobre o plano por linhas de fuga ortogonais, a chamada projeção ortogonal. A projeção pode ser dada nos planos principais da épura ou em planos auxiliares. Por meio de sucessivos rebatimentos, as superfícies, pontos e interseções de sólidos podiam ser posicionados em verdadeira grandeza no espaço, formando as vistas do objeto. Todas as imagens são representadas em uma superfície bidimensional de desenho. As vistas resultantes são alinhadas entre si, o que permite a determinação de sua posição relativa no espaço tridimensional.

A geometria descritiva partiu dos sólidos platônicos e da geometria euclidiana. Ambos foram desenvolvidos antes da era cristã, mas eram os elementos geométricos conhecidos até então. A partir desse método desenvolvido por Monge, foram fundadas as bases do

desenho técnico como conhecemos hoje. Assim como a perspectiva, apesar dessa técnica não solicitar medição exata, dependia de ferramentas, como par de esquadros e compasso, que auxiliassem na tarefa de *projetar*, isto é, *lançar as projeções do edifício sobre o papel*. Ao longo do tempo, foram desenvolvidas normas e regras de representação, constituindo o vocabulário próprio do desenho técnico.

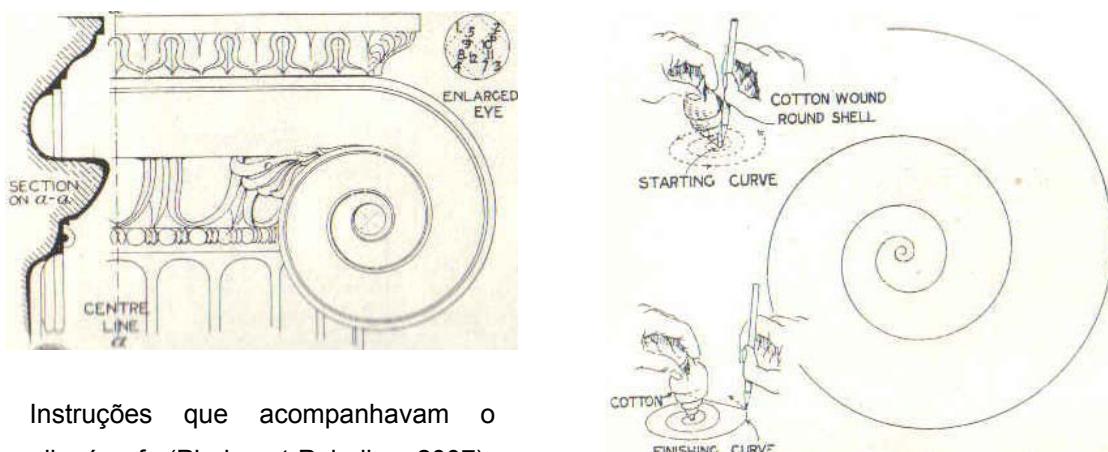
“Os métodos de projetar o espaço tridimensional numa superfície plana são estabelecidos por convenção; o uso da cor, a abstração, a simplificação do objeto representado, e a escolha de características reproduutíveis são todos baseados em convenção. É necessário aprender a linguagem convencional da pintura, a fim de “ver” uma imagem, assim como é impossível entender o que é dito sem saber a língua. Este aspecto convencional, tradicional de pintura cria em grande parte as condições para o próprio ato de nossa percepção visual. Como a tradição se acumula, a imagem pintada se torna um ideograma, uma fórmula, ao qual o objeto retratado está ligado por contiguidade. O reconhecimento passa a ser instantâneo. Já não se vê uma imagem” (Jakobson apud Mitchell, 1992).

Assim, a perspectiva e o desenho técnico consolidaram o que Perez-Gomez & Pelletier (2000) chamaram de “desenhos projetivos”. Por sua vez, compuseram a base do processo de criação tradicional da arquitetura, que vigora na maior parte da produção até hoje. É constituído pela série de projeções convencionais de planos constituintes do objeto arquitetônico representados por desenhos bidimensionais de plantas, cortes e fachadas. Essas projeções são representadas em várias escalas, da urbana aos detalhes que juntas, formam a idéia completa do edifício. Espera-se que essas representações sejam absolutamente precisas, sem ambiguidades para evitar erros de interpretação do que será construído. Também devem funcionar como instrumentos neutros, desprovidos de valores e que sejam direcionados para capacitar o construtor na execução do objeto (Perez-Gomez & Pelletier, 20009).

Figura 1.3: Ferramentas analógicas. (Piedmont-Palladino, 2007)



Figura 1.4: Regras para desenhar colunas gregas (Piedmont-Palladino, 2007).

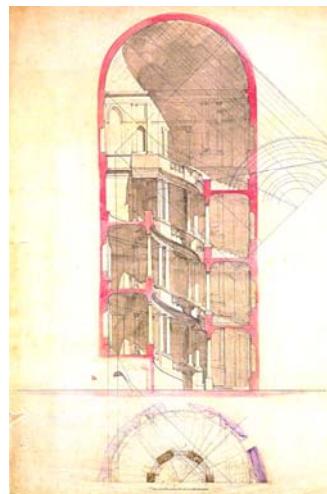


Instruções que acompanhavam o elipsógrafo (Piedmont-Paladino, 2007).

Segundo Paul Virilio (1993), uma das consequências do método projetivo, tanto na perspectiva quanto na confecção de plantas, foi a imposição de duas reduções ao objeto arquitetônico: a primeira em função da redução em escala e a segunda pela desagregação das informações completas dos objetos. Isso significa que o edifício é representado em partes e não no todo. Por exemplo, as plantas de um edifício de três pavimentos são representadas em desenhos distintos. Em corte elas aparecem empilhadas, mas ainda assim o corte é uma informação desagregada da planta, ou seja, é um desenho diferente.

**Figura 1.4: John Malton: Prancha XXV, Sombra, século XVIII
(Tierney, 2007)**

**Figura 1.5: Estudos de Luz e Estudos de ótica e perspectiva (1775)
(Piedmont-Palladino, 2007)**



Outra consequência foi apontada pelo arquiteto digital Dennis Dollens. Em seu livro *De lo Digital a lo Analógico* (2002) Dollens¹¹ afirmou que a tarefa de representar objetos no lugar de construí-los diretamente também levou à ‘**virtualização**’ da arquitetura, uma vez que o trabalho do arquiteto passou ser o de representar algo que não existe. Nesse sentido, a noção de ‘real’ passou a ser relativizada e altamente dependente do meio de expressão das idéias, seja a lápis no papel, com maquetes ou na tela do computador. O espaço em si tornou-se objeto de representação artística, tornando o desenho o instrumento principal de expressão do arquiteto. O “desenho que já é projeto” (Argan apud Lacombe, 2006), que, no entanto, “não é nem o espaço propriamente dito e nem a arquitetura” (Lacombe, 2006). Ou como disse, Therese Tierney:

“Será o desenho arquitetônico definido apenas pelo seu valor de uso, por sua função como um artefato estático? Como alternativa, se a imagem arquitetônica é definida como processo conceitual ou como parte do continuum do projeto, é possível aceitar a idéia de que a arquitetura é incerta. Eu me atreveria a dizer que o que é intrínseco à imagem de arquitetura pode existir fora do seu funcionalismo. Em vez disso, é a tendência abstrata da imagem para a diferenciação, para a transferência de informação, que é contextual e responsiva. Este processo de imprevisibilidade, ‘o que não sabemos ainda’, é mais inerente ao processo de projeto. É o transformar-se em outro expressivo que define a imagem da arquitetura. Este, então, é talvez o trabalho crucial dos arquitetos: o transformar-se em outro de algo que, embora real, ainda não chegou a ser” (Tierney, 2007).

Através das técnicas de desenho, o espaço pôde ser manipulado tecnicamente, tornando o desenho parte do pensamento e do raciocínio arquitetônicos. Através dele, são estabelecidas relações, testes e experimentações que se transformam no ato de projetar. Nesse sentido, o desenho passou a ser utilizado como meio, como raciocínio e pensamento. Em última instância, uma vez “reduzida ao plano bidimensional, a arquitetura confunde-se com o projeto arquitetônico e o desenho é o seu signo incontestável, sua representação” (Ferrara apud Lacombe, 2006). O **projeto** surge como “o instrumento técnico que permite a reprodução da obra arquitetônica depois desta ter sido montada pela primeira vez no espaço

¹¹ Dollens se apoiou na teoria de Gottfried Semper (1803-1879), um dos pensadores centrais da arquitetura do século XIX. Semper articulou as idéias de que o espaço é um elemento principal da arquitetura e que a conceituação do espaço precede a dos elementos físicos construídos, tais como muros e colunas. Além disso, considerou que a tectônica da arquitetura não era consequência da natureza e sim das artes e da indústria (tecelagem, alfaiataria, etc.). Sua teoria não só contradisse a opinião comumente mantida de que a arquitetura derivava da cabana primitiva, como teorizaram Viollet-le-Duc e William Chambers, como também alimentou a atmosfera intelectual que examina a arquitetura como uma função do pensamento e a visualização dos finais do século XX e no século XXI. Na realidade, Semper teorizou que, antes da arquitetura ser física, é uma construção mental, virtual. Esta percepção, que não era nova em si, mas que rechaçava as normas predominantes na época, é importante, pois tem sido aplicada novamente na arquitetura contemporânea (...) Por último, muito mais influente que a opinião de Semper de que as artes industriais são a chave para entender a arquitetura, da mesma maneira que a forma artística e a norma” (Dollens, 2002).

virtual e fictício do projeto: um conjunto de protocolos elaborados em escritórios profissionais (...)” (Solà-Morales, 1995).

O arquiteto William Mitchell observou que a partir desse processo foi estabelecida a reciprocidade entre a capacidade de representar e construir a arquitetura: “o homem constrói o que consegue desenhar e desenha o que consegue construir.” (Mitchell apud Kolarevic, 2003). Em outras palavras, a arquitetura passou a depender da capacidade de representar o espaço de maneira eficaz, que por sua vez passou a depender de meios e ferramentas disponíveis. Roy Ascott (apud Lacombe, 2006) enxergou essa reciprocidade como uma consequência negativa do paradigma Albertiano. Ele notou que a arquitetura ocidental acabou muito ensimesmada sobre sua própria materialidade e construtividade, demonstrando certa dificuldade em acompanhar as mudanças ocorridas em outros campos do conhecimento e de indagar sobre o futuro.

Assim como Ascott, Marcos Novak (apud Lacombe, 2006) observou que em meados do Século XVIII, “a congruência entre os modos de compreender o mundo e os modos de conceber a arquitetura foi rompida pelos contínuos desafios colocados pelas ciências à geometria euclidiana. Até aquele momento, a arquitetura ainda congregava as concepções e as representações do espaço ocidental. Contudo, assolada por sua inexorável materialidade, incapaz de acompanhar os avanços científicos, a arquitetura deixa de representar a ponta-de-lança de nossas visões de mundo e se volta para problemas cada vez mais estreitos, até que se transforma em atividade exclusivamente associada à mera construção utilitária”.

Com efeito, durante o Século XVIII e principalmente ao longo do Século XIX, diversos matemáticos como Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855) e Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866) desenvolveram estudos avançados sobre a representação de superfícies curvas não euclidianas. Apesar do conhecimento sobre essas novas superfícies, de formas mais complexas, havia a dificuldade flagrante até mesmo por parte dos próprios cientistas em representá-las corretamente e, portanto, construí-las.

Tal fato estimulou especulações por parte de alguns arquitetos como Peter Eisenman (1993) de que a preferência por formas puras na arquitetura, além da questão ideológica, veio também da incapacidade de representar formas complexas com as ferramentas existentes. Para Eisenman (1993 in Nesbitt, 2006), a noção de ‘ordem’ na arquitetura esteve historicamente apoiada em formas regulares e ideais, ou seja, formas geometricamente

exatas, descritas com as regras da geometria euclidiana. Assim, a ‘ordem’ estabelecida a partir das relações regulares e harmônicas de proporção e ritmo entre partes e todo, era baseada nos procedimentos geométricos intimamente vinculados às ferramentas de representação da forma – régua, par de esquadros, compasso. Nesse sentido, a descrição geométrica se dá pela possibilidade de reduzir o todo à síntese reconhecível. Portanto, o conceito de ‘ordem’ é decorrente das manipulações geométricas regulares, possibilitada pela geometria euclidiana e pelos instrumentos de desenho.

Esse exemplo serve para ilustrar as observações que Dennis Shelden, chefe da equipe de modelagem do Gehry Partners, fez em sua tese de Doutorado¹², apresentada ao MIT:

“As relações entre as ferramentas, os processos possíveis graças às ferramentas e os objetos produzidos a partir da operação dessas ferramentas são sutis e profundos. As operações que as ferramentas escolhidas possibilitam levam o operador a produzir objetos e produtos específicos que essas ferramentas proporcionam. A régua paralela e o par de esquadros, a cópia heliográfica e o papel manteiga sobrepostas à produção convencional de documentos facilitou a concepção de formas arquitetônicas ortogonalmente organizadas. O compasso permitiu a inclusão de arcos nas composições. Quando planos bidimensionais são alçados perpendicularmente ao plano do papel, de modo uniforme, um único desenho representa o corte do objeto, cuja aplicabilidade independe de onde o corte foi tirado. Desenhos construtivos bidimensionais fornecem enorme poder expressivo à descrição de objetos regulares. Por seu turno, o designer é subitamente guiado em direção ao desenvolvimento de formas que podem ser sustentadas por essas construções geométricas. Geometrias mais elaboradas que formas simples alçadas são evidentemente possíveis, através da combinação de múltiplas seções tanto paralelas quanto ortogonais, mas os ‘rastros’ da ferramenta são inevitavelmente percebidos na forma resultante”. (Shelden, 2004).

Se por um lado a ‘virtualização’ da arquitetura definiu a reciprocidade entre representação e construção, por outro, permitiu que a disciplina se desenvolvesse com certa autonomia. Uma vez separada da noção de mera tarefa de construir, a arquitetura passou a pertencer também ao campo da abstração. A arquitetura, agora tarefa mental, pôde ser mais especulativa, se revestindo de ideologias, conceitos, ‘artisticidades’ e teorias que também foram influentes assim como as ferramentas empregadas no processo. Nesse sentido, o paradigma Albertiano abriu caminho para a discussão de um dos temas mais difíceis e debatidos da Arquitetura que é a sua própria definição. De um lado, estabeleceu-se a crença de que “a função, isto é, o uso programático primordial de abrigo singulariza a arquitetura e, portanto define seu significado” (Nesbitt, 2006). De outro, há a alegação de que “a função de

¹² O tema da tese de Shelden foi o processo conceptivo de Gehry.

acomodação (no sentido literal da palavra) é a essência da construção, e não da arquitetura, cuja gama de intenções é mais ampla e comporta função simbólica” (Nesbitt, 2006).

Esse questionamento foi fundamental para as diversas formulações teóricas e definições sobre o escopo e as fronteiras da disciplina, que levaram à “constituição da arquitetura como arte, ciência, ofício e atividade intelectual” (Nesbitt, 2006). Como disse o arquiteto e teórico Bernard Tschumi (1996), “(...) arquitetura não existe sem desenhos, da mesma maneira que a arquitetura não existe sem textos. Edifícios têm sido erguidos sem desenhos, mas a arquitetura em si vai além do mero processo de construção”. Mais adiante, ele completa esse raciocínio com a idéia de que “a construção pode ter relação com utilidade, a arquitetura não necessariamente” (Tschumi, 1996).

Com esse pensamento em vista, os arquitetos se viram livres para engendrar novas possibilidades formais, induzindo à prática das “arquiteturas de papel” (Pérez-Gómez apud Nesbitt, 2006), isto é, projetos não construídos, cuja eficácia como instrumentos de crítica foi veementemente defendida por Pérez-Gómez (apud Nesbitt, 2006). Ao longo dos séculos seguintes, é possível identificar diversas arquiteturas de papel que foram influentes na disciplina. Caso da ‘arquitetura das sombras’ de Étienne Loius Boullée (1728-1799) e da série de Cárceres de Giovanni Battista Piranesi (1720-1778). Num salto temporal de mais de dois séculos, a partir da década de 1960 e mais intensamente ao final da década de 1990, foi justamente no terreno do abstrato, no campo conceitual e especulativo que as arquiteturas surgidas com a aplicação nas novas ferramentas digitais de representação produziram seus primeiros exemplares, questionando pela primeira vez cinco séculos de domínio do paradigma Albertiano na arquitetura.

A revolução do olhar trazido pela perspectiva pareceu inalterada até meados do século XX (Lacombe, 2006). Os postulados da arquitetura modernista permaneceram baseados nos ideais clássicos, calcados no cartesiano, no ordenado e no absoluto, determinado por leis estáticas e imutáveis. A visão do mundo era linear, centrada e orientada pelos princípios da causalidade e da determinação. A arquitetura moderna se desenvolveu afinada com os novos materiais e com o sistema de representação matemático linear da perspectiva, cujo espaço hierarquizado resultante era reflexo da cultura. A atitude moderna era, portanto, caracterizada pela afirmação das certezas inabaláveis da ordem racionalista e a arquitetura produzida no período correspondeu não só a esse pensamento, mas também aos meios de representação do espaço através dos artifícios disponíveis: as ferramentas tradicionais de desenho, a matemática clássica, a geometria descritiva e a perspectiva (Duarte, 2006). O

espaço hierarquizado resultante é reflexo da cultura.

Até esse período, não há registros de questionamentos a ponto de negar a natureza do suporte de representação, dos instrumentos de desenho tradicionais ou ainda das questões ideológicas embutidas nas tecnologias do desenho, ou seja, a geometria descritiva, a perspectiva e os desenhos projetivos. Como disse Robin Evans (1997), “a hegemonia do desenho sobre o objeto arquitetônico nunca foi realmente desafiada”. Essa aparente constância nas ferramentas de representação e concepção da arquitetura só foi interrompida em meados do século XX com a emergência dos computadores, que derem início a “terceira e maior revolução da era industrial, a Revolução Computacional” (Mitchell & McCullough, 1995), que também foi chamada de revolução digital ou paradigma eletrônico (Jencks, 2002). O novo status tecnológico modificou permanentemente todos os estratos sociais, culturais e tecnológicos. O desenvolvimento dessas máquinas nas décadas seguintes comprovou que havia algo de extraordinário nessa nova ferramenta; que não era uma ferramenta qualquer e que o seu potencial podia alcançar terrenos totalmente novos, uma vez que a nova máquina podia ser dotada de certas capacidades cognitivas.

O matemático Norbert Wiener foi um dos primeiros a visionar que a relação entre máquinas e seres humanos poderia ir além da mera questão funcional. Em 1948, Wiener cunhou o termo **cibernetica** para designar o estudo dessas relações. Wiener observou que enquanto as máquinas mecânicas executam funções automáticas, comandadas por instruções objetivas repetidamente, os humanos são capazes de fazer escolhas e tomar decisões, sempre de modo potencialmente criativo. Em suas pesquisas, o cientista procurou combinar essas duas entidades dotando as máquinas de certos comportamentos humanos, simulando seres vivos. O pesquisador tomou emprestados conceitos multidisciplinares, desde a matemática, engenharia mecânica e ciência da computação até biologia, neurociência e até psicologia. Wiener estabeleceu paralelos entre alguns traços do comportamento humano e o das máquinas: “ambos recolhem informações do exterior através de receptores sensoriais, são transformados internamente e então utilizados para o processo de funcionamento do organismo, que se auto-organiza e reorganiza” (Lacombe, 2006).

Enquanto as máquinas de primeira e segunda gerações – as máquinas mecânicas e as de telecomunicações, respectivamente – funcionavam como extensões da capacidade física humana, os computadores – máquinas da terceira geração – são máquinas capazes de processar informações, podendo atuar como parceiros no ato de pensar. Assim, a história da tecnologia é a história do aumento das capacidades humanas: “ferramentas mecânicas

ampliaram a força para mover e levantar objetos. Ferramentas ópticas ampliaram nossa visão do telescópio ao microscópio. A biotecnologia ampliou nossa possibilidade de cura e o computador, a máquina da terceira geração, ampliou nossa capacidade cognitiva" (Lawson, 2005). Nesse sentido, como explicou Ezio Manzini (apud Duarte, 1999), das ferramentas tradicionais espera-se que elas façam o que devem fazer, mas dos instrumentos digitais interativos, há a expectativa de que façam alguma coisa, que pensem, que decidam durante a solução de um problema. O desempenho depende tanto do usuário quanto das reconfigurações lógicas da máquina. Dessa forma, a própria máquina pode criar modelos aleatoriamente ou demonstrar soluções distintas para o mesmo problema de acordo com os dados inseridos.

Como consequência, a relação usuário-máquina deixou de ser linear como algo do tipo sujeito-objeto. Ou seja, "não se trata agora do sujeito cognitivo que interage com o objeto-máquina [...] a relação não é mediada por uma representação que antecede a ação a ser desenvolvida, ocorrendo, isto sim, um acoplamento imediato com a máquina" (Lévy, 1993). Segundo Mitchell (2003), a representação do 'homem digital' já não encontra mais paralelo com o homem vitruviano, encerrado no círculo perfeito e único, vendo o mundo das coordenadas do seu ponto de vista pessoal. Também não é um sujeito autônomo, auto-suficiente que objetifica e responde ao seu ambiente imediato. Esse 'homem digital' espacialmente estendido constrói o novo tipo de natureza e é influenciado por ela a partir de processos mutuamente recursivos que interagem continuamente entre seus limites:

"(...) poder-se-ia dizer que as novas tecnologias estão criando uma nova espécie de natureza. Se a natureza, tal como a conhecemos, é definida como real, então provavelmente esta nova natureza artificial deveria ser chamada de virtual. E nós, contemporâneos, estamos providos de dois tipos de corpos para corresponder a esses dois tipos de natureza. O corpo real que está unido ao mundo real por meio dos fluidos que correm em seu interior e o corpo virtual unido ao mundo mediante o fluxo de elétrons" (Ito apud Dollens, 2002)

Outra característica fundamental que deve ser destacada é que as novas máquinas também executavam o processamento de informações, decodificadas em linguagem numérica binária de 1 e 0. Assim, se trabalhados em meios digitais, obras concebidas em qualquer linguagem são, por fim, reduzidas em código binário. Todo meio é capaz de reprocessar as informações gerando combinações numéricas próprias. Desse modo, as informações representadas na superfície da tela como imagens, por exemplo, não trazem necessariamente indícios de seus meios originais ou de um objeto referente. Não dependem de uma posição no espaço, mas estão permanentemente em mutação e intercâmbio. Por exemplo, a palavra "amor" escrita em um programa editor de texto ou o desenho de um arco

no AutoCAD possuem naturezas indiferentes para a máquina. Ambos são constituídos de sequências binárias de 0 e 1. A decodificação da informação permitiu mais tarde a formação de redes de informação, conectando usuário em nível mundial. A “aldeia global” antevista por McLuhan se tornaria possível não pelas redes televisivas como o autor propunha, mas pelo fluxo de informações binárias que correm na rede mundial de computadores.

Ivan Sutherland, idealizador da primeira interface gráfica digital, ponderou que para produzir desenhos digitais realmente diferentes daqueles executados em papel com lápis era necessário atentar para certos aspectos descritivos do objeto a ser desenhado que não são tão importantes se desenhados à mão. Segundo ele:

“Um desenhista comum não está preocupado com a estrutura de seu material de desenho. Caneta e tinta ou lápis e papel não possuem estruturas inerentes. Eles apenas fazem marcas no papel. O desenhista se preocupa principalmente com os desenhos como representações do projeto em evolução. O comportamento do desenho produzido pelo computador, por outro lado, é criticamente dependente da estrutura topológica e geométrica construída na memória do computador como resultado de operações de desenho. O desenho propriamente dito tem características independentes das características dos objetos que ele descreve” (Sutherland in Negroponte, 1975).

Assim, o paradigma da visão/representação do mundo é posto em discussão pela primeira vez desde o Renascimento com as primeiras interfaces gráficas da década de 1960 com o que Paul Virilio (2005) chamou de “crise das dimensões físicas, enquanto crise das medidas”, a qual “afeta até hoje o conjunto das representações do mundo” (Virilio, 2005). De acordo com essa teoria, tanto espaço quanto tempo são unidades variáveis e relativas ao referencial estático do observador. Como consequência, o resultado numérico da dimensão de uma linha está relacionado ao tempo necessário para percorrê-la e não à unidade de medida absoluta. Dessa maneira, as dimensões físicas são frações espaciais contidas num espaço-tempo, as quais a geometria clássica ou arcaica não é capaz de interpretar ou interpretar equivocadamente dada a sua insuficiência de meios de observação.

Essa defasagem levou ao declínio das dimensões físicas absolutas e das representações equivalentes ao **espaço analógico**, ou seja, aquele regido pelas leis matemáticas clássicas. Esse evento abriu caminho para a exploração de novas teorias matemáticas capazes de representar essa nova noção de espaço. Na alavanca desse processo, o **ciberespaço** ou **ambiente digital do computador** se constituiu como **ferramenta perfeita** para esse fim, uma vez que sua unidade de mensuração, o pixel, é genérica e relativa. Para ilustrar esse pensamento, Vilirio (2005) atribuiu valores diferentes ao pixel: um ponto luminoso, um acre, um hectare, revelando a indiferença do valor absoluto da correspondente medida física no

espaço eletrônico/digital. A velocidade de transmissão dos pixels é o único vetor de representação eletrônica, não somente na velocidade da memória do computador, mas também no tempo de processamento do seu produto final, a imagem digital.

De acordo com Virilio (2005), se toda representação projetiva é uma redução (de escala, de proporções, conteúdo...), a natureza do espaço digital é o suporte perfeito para a representação **holística**, em **contraponto** com o **sistema representacional estático da perspectiva**. Na primeira é possível ver tudo ao mesmo tempo, sem implicar na perda ocasionada pela redução em escala, fato que não ocorre no segundo. Dessa forma, o computador emerge como mídia alternativa para a representação no espaço digital, ao contrário do espaço analógico de natureza matemática absoluta: “Toda representação é uma redução (...), mas aqui a redução é recusada, a recepção coletiva simultânea é a de um olho ubiquitário capaz de ver tudo ao mesmo tempo...” (Virilio, 2005).

O arquiteto Peter Eisenman talvez tenha sido o primeiro arquiteto a teorizar sobre a questão do espaço digital na arquitetura. Em seu artigo *Visões que desdobram* (in Nesbitt, 2006) o arquiteto problematiza a visão e aponta a falácia dos métodos de representação bidimensional. Eisenman argumenta que a representação no plano bidimensional constitui fator fortemente limitante à arquitetura, dada a sua natureza tridimensional. Eisenman também acredita na relação estreita entre o design arquitetônico e a ferramenta de representação utilizada no processo conceptivo. Segundo o arquiteto, não foi por acaso que a invenção da perspectiva de um ponto de fuga, correspondeu à época em que o paradigma teológico e teocêntrico foi substituído pela visão de mundo antropomórfica e antropocêntrica.

“No rastro dessa mudança, a perspectiva passou a ser o meio através do qual a visão antropocêntrica se cristalizou na arquitetura. Contudo, o sistema de projeção de Brunelleschi era mais profundo em sua eficácia do que toda a mudança estilística subsequente, pois ratificou a visão como discurso dominante na arquitetura, desde o século XVI até hoje. Deste modo, não obstante as repetidas mudanças de estilo desde a Renascença até o Pós-modernismo, o sujeito humano que ‘vê’ – unocular e antropocêntrico – ainda é o termo discursivo primordial da arquitetura” (Eisenman apud Lacombe, 2006).

Para Eisenman, a tradição de projeção planimétrica na arquitetura persistiu incontestada porque permitiu a projeção e, portanto, a compreensão do espaço tridimensional em duas dimensões. O arquiteto enxergou no computador o meio através do qual seria possível o rompimento com a tradição clássica e o surgimento da nova arquitetura. Segundo Eisenman (2003), o computador desenha diferente; a nova ferramenta tem a capacidade de executar ações “de uma maneira que um humano não poderia”. Ao mudar o método de representação do pensamento e o suporte de sua manifestação, a natureza desse

pensamento também poderia ser modificada. Portanto, “é na dimensão do suporte, agora digital, que reside a grande mudança para o pensamento e gênese da nova arquitetura do virtual” (Ascott apud Lacombe, 2006). Assim, novo espaço digital, o ciberespaço, é heterodoxo, utópico e atemporal e como tal, solicita novas estratégias de projeto para a interação com a nova máquina que podem ir além das questões meramente utilitárias.

O reconhecimento do potencial dos computadores e sua posterior absorção não foram imediatos. Ao contrário, passaram por um período de incubação, desde os primeiros experimentos na década de 1960 até a construção do primeiro edifício concebido digitalmente entre 1992 e 1997, o Museu Guggenheim de Bilbao, do arquiteto Frank Gehry, assunto desenvolvido nos próximos capítulos. Provavelmente, a consolidação das ferramentas digitais na arquitetura ainda não atingiu seu ponto definitivo.

Não resta dúvida que as tecnologias digitais têm modificado a prática arquitetônica de determinadas maneiras que poucos foram capazes de antecipar a três décadas. Enquanto as máquinas de primeira e segunda gerações serviam como referência externa à Arquitetura¹³, as máquinas da terceira geração – os computadores – transcendem essa função passiva para serem incorporadas à arquitetura como uma nova ferramenta. A **máquina-ferramenta** não só perpetua a relação de dependência estreita entre representação e concepção, como traz novas questões dentro de nichos arquitetônicos tradicionais. Assim como novas ferramentas demandam novas técnicas, no caso das ferramentas digitais, os limites entre o potencial da ferramenta e eficiência das novas técnicas são difusos. Somado à própria crise na disciplina observada a partir da década de 1960¹⁴, o potencial plural da adoção do computador como nova ferramenta na arquitetura tomou inúmeras trajetórias, cada uma delas com múltiplos desdobramentos que vão desde a concepção de objetos arquitetônicos, sua representação até a construção. A experiência digital se apresenta como uma experiência diversa, plural, complexa. Não há apenas uma direção senão muitas. Qualquer aproximação das arquiteturas digitais deve levar em conta esse aspecto multifacetado da formação da arquitetura contemporânea.

Não se pretende falar de todos esses desdobramentos, tarefa que seria extremamente difícil, mas sim analisar um desses pontos distintos de inflexão. O que se pretende examinar são algumas das mudanças ocasionadas pelas novas ferramentas digitais e por extensão,

¹³ Ver Anexo I.

¹⁴ Idem.

das maneiras através das quais a arquitetura tem sido concebida na era digital. A abordagem proposta por Solà-Morales (1995) e aqui adotada, sugere a análise em corte diagonal, não exatamente iconográfico nem estritamente sobre o potencial das novas ferramentas digitais, mas focando em pontos de confluência entre a mudança tecnológica do instrumental com a própria evolução da arquitetura. Em outras palavras, o foco da investigação é analisar esse novo movimento de convergência entre tecnologia e arquitetura, mas que essa convergência é distinta, uma vez que se trata de uma ferramenta inteiramente nova na arquitetura.

CAPÍTULO 2 – O PERÍODO DE GESTAÇÃO

CAPÍTULO 2. O PERÍODO DE GESTAÇÃO

A partir da década de 1960, a sociedade começava a entrar na chamada ‘era pós-industrial’, na qual a detenção, processamento e disseminação da informação passariam a dominar cada vez mais a vida cotidiana¹⁵ (Mitchell ; McCullough, 1995). Se a cada tempo histórico ou se para cada formação da sociedade é possível corresponder uma máquina, então pode-se dizer que os computadores, ou ‘as máquinas de terceira geração’ correspondem à conformação social do período pós-industrial (Lacombe, 2006). Segundo o filósofo Gilles Delleuze (1992), “é fácil corresponder a cada sociedade certos tipos de máquina, não porque as máquinas sejam determinantes, mas porque elas exprimem as formas sociais capazes de lhes darem nascimento e utilizá-las. As antigas sociedades de soberania manejavam máquinas simples, alavancas, roldanas, relógios; mas as sociedades disciplinares recentes tinham por equipamento máquinas energéticas, [...] as sociedades de controle operam máquinas de uma terceira espécie, máquinas de informática e computadores”.

Nesse contexto, “se a arquitetura do movimento moderno tem como paradigma a máquina mecânica que atua como extensão das forças do homem incrementadas exponencialmente pela energia, a máquina que desponta como possibilidade para os anos do pós-guerra é um sistema de associar, um pensar que estabelece uma máquina abstrata, um sistema que funciona baseado em um processo que relaciona informações passo a passo, capaz de executar tarefas mimetizando o raciocínio e até funcionar simulando a mente humana. É a extensão da mente, do pensamento. Da extensão mecânica à extensão cognitiva” (Lacombe, 2006). Assim, na década de 1960, enquanto teóricos e arquitetos vanguardistas como Reyner Banham, Richard Buckminster Fuller e o grupo Archigram imaginavam a arquitetura da segunda era da máquina¹⁶, a tecnologia maquinica já avançava para sua ‘terceira geração’.

¹⁵ Três décadas mais tarde, com a disseminação da internet, a sociedade pós-industrial começou a redimensionar sua economia com base em novos princípios fundamentais: “produção sistemática de alimentos e extração de recursos naturais; produção de bens e transporte mecânico rápido de pessoas e mercadorias; e, produção eletrônica, armazenamento e transmissão de informações (Mitchell ; McCullough, 1995). Nessa conjuntura, não temos mais somente a economia agrícola ou industrial, mas também a “economia da informação” (Mitchell ; McCullough, 1995), cada vez mais importante. A detenção da informação também se tornou elemento de poder, levando-nos à “Era Informacional” (Kolarevic, 2003).

¹⁶ Ver Anexo I

Isso não significa que as arquiteturas digitais são consequências simples, diretas e imediatas do paradigma eletrônico. Dennis Dollens (2002) explica que em sua busca pelos rastros analógicos que poderiam ser precursores das arquiteturas digitais, se deu conta que o processo visual para a mudança radical nas superfícies curvas e nos processos construtivos não começou com o lançamento dos computadores pessoais em 1984, mas provavelmente na primeira metade do século XIX, com o advento da fotografia e nas subsequentes mudanças nas maneiras de representar o mundo, influenciadas pelas tecnologias emergentes em cada tempo histórico seguinte.

Também é importante salientar que os primeiros computadores das décadas de 1940 e 1950 eram, na verdade, “grandes calculadoras programáveis capazes de armazenar programas” (Lévy, 1999). Eram máquinas frágeis que ocupavam salas inteiras e consumiam enormes quantidades de energia. O computador evoluiu por meio de outras invenções como o transistor (1947), seguido do circuito integrado (1957) e finalmente o chip de silício do microprocessador (1971). Durante muito tempo foram reservados a militares, para uso científico. O uso civil só foi disseminado na década de 1960, mas permaneceu praticamente restrito a laboratórios de pesquisa em grandes universidades ou grandes empresas como algumas indústrias de automóveis (Mitchell ; McCullough, 1995).

Os primeiros passos rumo à popularização dos computadores até o computadores pessoais começaram com o desenvolvimento e comercialização do microprocessador na década de 1970 (Lévy, 1999). Na década de 1980, começaram a serem comercializados os primeiros microcomputadores pessoais e em 1984 a empresa Macintosh lançou o primeiro computador pessoal com plataforma gráfica. Somente na década de 1990 que os computadores pessoais passaram a fazer parte do cotidiano das famílias médias. Mais tarde, o acesso mundial à internet, a partir de 1994, marcou a grande expansão das tecnologias da informação sem paralelo na história da humanidade, transformando o perfil dos estúdios de projeto.

2.1 O foco na metodologia de projeto

O termo ‘tecnologia¹⁷’ pode ser definido como as técnicas, conhecimentos, métodos, materiais, ferramentas, e processos usados para facilitar a solução de problemas. Tecnologia também pode ser entendida como “o uso de conhecimentos científicos para especificar maneiras de fazer de um modo reproduzível” (Lacombe, 2006). Segundo Manuel Castells (1989), uma característica fundamental das revoluções tecnológicas é que **os principais efeitos das inovações tecnológicas recaem sobre os processos e não sobre os produtos.**

No entanto, há uma diferença fundamental entre o novo paradigma tecnológico informacional e as revoluções tecnológicas anteriores. As tecnologias computacionais estão voltadas para o processamento da informação, isto é, tanto a matéria-prima quanto o produto são informação em si. Portanto, o que é específico do modo informacional de produção é que o conhecimento intervém sobre o conhecimento em si para gerar maior produtividade, ou seja, a tecnologia é orientada para geração de novos conhecimentos os quais formam a base da produção e a fonte da produtividade. Em outras palavras, no modo informacional, o desenvolvimento tecnológico é direcionado para o acúmulo de conhecimento.

Assim como novas ferramentas demandam novas técnicas e novas metodologias, diante desse novo contexto tecnológico, as ferramentas digitais despontaram na arquitetura como a nova possibilidade de renovação a partir da crise que se instalou sobre a disciplina em meados do século XX. A partir da segunda metade do século XX é possível perceber que houve mudança conceitual atribuída ao significado do objeto arquitetônico¹⁸. Por extensão, houve mudança também no método a partir do qual a arquitetura tem sido concebida. As novas possibilidades oferecidas pelas **ferramentas digitais** têm sido um dos principais instrumentos de transformação da arquitetura, cujos efeitos ficaram mais evidentes a partir dos anos de 1990. Na leitura de William Mitchell (1992), “as ferramentas digitais são mais adaptáveis aos diversos projetos dessa era pós-moderna ou pós-industrial, uma vez que o mundo digital é a mídia que privilegia a fragmentação, indeterminação e heterogeneidade e que enfatiza o processo ou a performance no lugar do objeto artístico final”.

¹⁷ Do grego τεχνη — “ofício” e λογια — “estudo”.

¹⁸ Ver anexo I.

As décadas de 1960 e 1970 assistiram ao boom de publicações, teses e dissertações sobre metodologia de projeto, ou seja, “a teoria ou ciência dos métodos utilizados no processo de concepção de projeto que considera tanto as etapas ou passos dados durante o processo quanto os procedimentos e os métodos utilizados durante esse processo” (Rocha, 2004). Essas abordagens metódicas partiam do princípio de que as várias etapas do processo conceptivo são formuladas explicitamente e, portanto, passíveis de serem controladas, verificadas e informadas.

De modo mais geral, a mudança de foco para a metodologia de projeto pode ser associada à crise que solapou a arquitetura nas décadas de 1960 e 1970. Como disse Solà-Morales:

“Houve um tempo em que o saber necessário para fazer arquitetura poderia encerrar-se nos conselhos decantados pela experiência do ofício. O marco geral, cultural e social desta prática não se colocava em questão, estava fixado. A arquitetura podia ser definida como o requintado trabalho material capaz de produzir belos resultados (...). A partir do momento em que cai o sistema ideológico construído pelas vanguardas históricas e o projeto moderno se revela problemático¹⁹ não é mais possível desenhar *desde uma cadeira a uma cidade* com a mesma segurança que os arquitetos possuíam na geração dos mestres.” (Solà-Morales, 1995)

Segundo Solà-Morales (1995) durante esse período de crise, os críticos denunciavam que a funcionalidade, serviço público, honestidade, racionalidade e lógica construtiva faziam parte apenas da falácia do movimento moderno e não como atributos dos objetos arquitetônicos produzidos. Cabia ao crítico desmascarar essas inverdades, promovendo a desqualificação da arquitetura do período e fomentando correntes de desconfiança global por meio do discurso. Alguns arquitetos, como Richard Buckminster Fuller e teóricos como Reyner Banham (2006) procuraram assinalar pontos vulneráveis das arquiteturas que seguiram os modelos modernistas²⁰. Segundo esses autores, para alcançar determinados objetivos formais e cenográficos, os mestres modernos como Le Corbusier e Mies Van der Rohe frequentemente recorreriam a ‘truques’ ilusionistas que deixavam escapar problemas fundamentais de solução técnica.

Reforçando esse coro, o arquiteto Christopher Alexander (1971) promoveu o desfile sobre diversas falhas projetuais e contradições desses grandes arquitetos. Cita, por exemplo, a famosa Residência Farnsworth, de Mies Van der Rohe que “apesar de maravilhosamente clara e organizada sob certas regras formais rígidas, certamente não é um trunfo

¹⁹ Ver Anexo I.

²⁰ Ver Anexo II.

economicamente ou do ponto de vista das enchentes de Illinois" (Alexander, 1971). A própria Villa Savoye, segundo ele, "atingiu sua pureza com o prejuízo de determinados confortos elementares" (Alexander, 1971).

No campo da Teoria da Arquitetura, ouviram-se os primeiros tiros disparados contra Modernismo. Um dos principais porta-vozes foi Robert Venturi. Em *Complexidade e Contradição na Arquitetura* (1966) o autor se posicionou contra a simplificação modernista frente à vasta gama de problemas da arquitetura. O arquiteto reivindicou o reconhecimento da "variedade e confusão, dentro e fora do programa e no ambiente" (Venturi, 1995) que sempre permearam a arquitetura, mas que foram afastadas em prol da ordem perfeita e normativa que propunha o movimento moderno. Para Venturi, havia muitas variáveis no projeto além daquelas que os modernistas se propunham a enfrentar. Logo na primeira parte do livro, sob o título 'Complexidade Píntoresco', Venturi cita a passagem do arquiteto Paul Rudolph que elucida eficientemente seu próprio ponto de vista:

"Nunca será possível resolver todos os problemas... Na verdade, é uma característica do século XX que os arquitetos sejam altamente seletivos na determinação de quais problemas querem resolver. Mies, por exemplo, realiza edifícios maravilhosos simplesmente porque ignora muitos aspectos de um edifício. Se ele resolvesse mais problemas, seus edifícios seriam muitíssimo menos poderosos." (Venturi, 1995).

Tendo isso em vista, pode-se dizer que o crescente interesse na metodologia de projeto surgiu em parte devido à crescente complexidade do processo de projeto, constantemente desafiado pelas novas demandas culturais, sociais e tecnológicas da nova era eletrônica, e em parte devido à necessidade surgida dentro da disciplina de tornar os métodos de projeto 'mais científico', isto é, mais sistemático e menos baseado na intuição e na 'tentativa e erro'. Os arquitetos procuravam preencher as lacunas entre processo intuitivo e pensamento racional tomando a parte essencial do pensamento científico cartesiano – análise, medição e racionalização – como base dos estudos metodológicos e assim proceder à reavaliação dos métodos a partir dos quais a arquitetura era concebida.

Dentro desse contexto, esperava-se que a aplicação do computador permitisse que os aspectos mais complexos no processo de concepção fossem cumpridos de maneira mais eficaz. Tendo em vista a natureza lógica e matemática das novas ferramentas digitais, arquitetos vanguardistas enxergavam nessas máquinas o potencial transformador das metodologias de projeto rumo a processos conceptivos mais próximos do método científico (Voordt; Wegen, 2005). Como principais personagens desse ponto de transição figuram

Christopher Alexander e William Mitchell.

Em vertente alternativa, com outra abordagem de tecnologia e ciência, podem ser citados Yona Friedman, Richard Buckminster Fuller e Cedric Price, com aproximações distintas, influenciadas pelo tema da ‘complexidade’²¹ como embrião de nova ciência. Todos compartilhavam o entendimento da tecnologia e da ciência não como metáforas formalistas ou funcionalistas, mas como substratos essenciais da concepção e de verdadeiros sistemas arquitetônicos sustentáveis em relação ao meio ambiente. Em outras palavras, o objetivo era projetar a arquitetura para funcionar como *sistema*. Nesse sentido, a aproximação entre arquitetura e computação se dá pela *cibernética*.

2.2 1960-1970: A Máquina de desenhar

Nos primeiros anos da década de 1960 foram dados os primeiros passos para o desenvolvimento das interfaces gráficas. Uma das primeiras pesquisas nesse sentido foi desenvolvida pelos pesquisadores pioneiros na área da computação gráfica Steve Coons e Larry Roberts. Eles desenvolveram um algoritmo executável pelo computador que construía perspectivas. O sistema não só era eficiente, como também bania a possibilidade humana de erro ou a intervenção arbitrária na execução do algoritmo. A idéia essencial era

²¹ Edgar Morin (2007) apontou que a ciência e cultura clássicas são regidas pelo ‘paradigma de simplificação’. A simplificação tinha por missão revelar a simplicidade escondida no caos aparente da natureza, reduzindo-a a leis e princípios. A saída encontrada para esta disjunção foi outra simplificação: “a redução do complexo ao simples” (Morin, 2007). A estratégia para alcançar tal empreendimento foi a *racionalização*, ou seja, a explicação simplista do que a razão desconhece ou não comprehende. A realidade é presa ao sistema coerente, onde tudo que o contradiz é afastado, esquecido ou considerado ilusório.

A ênfase dada ao pensamento racional em nossa cultura está sintetizada no célebre enunciado de Descartes “cogito ergo sum”, o que encorajou eficazmente os indivíduos ocidentais a equiparem sua identidade com sua mente racional e não com seu organismo total (Capra, 1982). As pesquisas científicas em todos os campos geralmente se restringiam ao estudo das propriedades dos materiais – formas, quantidades e movimento – as quais podiam ser medidas e qualificadas. Outras propriedades, como som, cor, sabor, cheiro e quaisquer tipos de projeções mentais subjetivas deveriam ser excluídas do domínio da ciência (Capra, 1982).

A crença cartesiana na verdade científica é, ainda hoje, muito difundida e reflete-se no cientificismo que se tornou típico da cultura ocidental. O método científico ainda é considerado de modo geral como o único meio válido para a compreensão do universo. Embora o método cartesiano tenha sido fundamental para grande parte dos avanços tecnológicos, a excessiva ênfase dada a ele levou à fragmentação do nosso pensamento em geral e das disciplinas acadêmicas. Isso levou à “atitude generalizada de *reducionismo*: a crença em que todos os aspectos dos fenômenos complexos podem ser compreendidos se reduzidos às suas partes constituintes” (Capra, 1982).

Nas décadas mais recentes, uma série de descobertas científicas demonstraram que as idéias e valores da ciência clássica eram seriamente limitados, devendo sofrer revisões (Capra, 1982). A física moderna, através dos estudos complexos como espaço-tempo, relatividade e termodinâmica, demonstrou que o pensamento científico não deveria ser necessariamente reducionista e mecanicista. A inclusão de princípios antes rejeitados como a incerteza, a probabilidade, as concepções holísticas e o conceito de consciência passaram a ser cientificamente válidos (Capra, 1989). A nova maneira de ver o mundo à luz desses conceitos serviu de base para o que Morin chamou de paradigma da complexidade (Morin, 2007), regido pela visão sistemática do universo, na qual todos os elementos, objetivos e subjetivos estão conciliados e mutuamente influenciados.

transformar as coordenadas triplas x, y, z representando os pontos finais das linhas no espaço em coordenadas pares x, y representando os pontos finais no plano da imagem executando algumas operações aritméticas simples e repetitivas. O procedimento resultava em imagens brutas, em wireframe dos objetos tridimensionais e de cenas (Mitchell, 1992).

Figura 2.1: Console do Sketchpad, 1963.
(Pedmont-Palladino, 2007).



Mas o passo fundamental foi dado em 1963, quando o matemático Ivan Sutherland desenvolveu uma “máquina de desenhar” para sua tese de Doutorado²² realizada no MIT. O **Sketchpad**, cuja tradução literal é bloco de desenho, é considerado o primeiro programa CAD (computer aided design) e o pontapé inicial para as pesquisas sobre interação homem-computador. Com o Sketchpad

inaugurou-se o conceito de **usuário de interface gráfica (GUI – graphical user interface)**, que permitia a interação com o mundo virtual sem digitação de longos comandos em barras de scripts ou com programação de algoritmos. No lugar disso, os usuários podiam usar cliques para desenhar, procedimento muito familiar em programas mais atuais como o AutoCAD.

O **Sketchpad** era constituído por uma janela de 7" x 7", aproximadamente 17,78 x 17,18 cm com resolução de 1024 x 1024 pixels; uma caneta luminosa que fazia a interface apontando diretamente para a tela e uma caixa com cerca de 40 botões que correspondiam a comandos como por exemplo, *draw*, *move* ou *delete*. A plataforma do Sketchpad era o computador TX-2, construído em 1958. Essa máquina era construída com transistores, no lugar dos circuitos integrados presentes em computadores mais recentes. Ocupava o

²² A tese de Ivan Sutherland foi defendida em 1963 e publicada em 1980 sob o título de *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*. Em 2003 foi publicada sua versão em e-book, disponível em <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf>. É a versão usada nessa dissertação. Acessado em 15 de agosto de 2008.

tamanho de uma sala e era capaz de guardar o equivalente a 272 bytes de informação, número impressionante para a época.

Figura 2.2: Demonstração do procedimento para desenhar uma linha e um círculo (Sutherland, 2003).

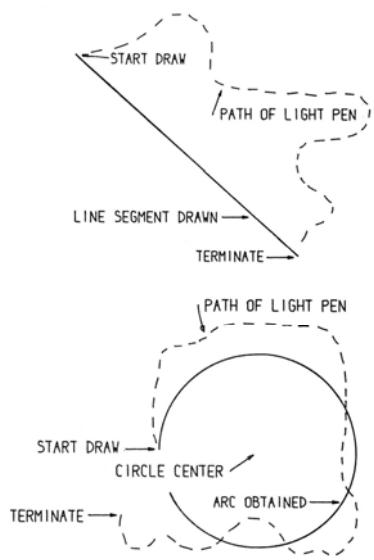


FIGURE 1.4.
LINE AND CIRCLE DRAWING

Na introdução de sua tese, Sutherland explicou através de exemplos simples algumas operações de desenho que podiam ser executadas. Para construir uma linha, por exemplo, “se apontarmos a caneta luminosa para a tela e apertarmos o botão ‘draw’, o computador construirá uma linha reta que estica como uma tira borracha da posição inicial para a posição corrente da caneta, conforme a Figura 1.4”. (Sutherland, 2003). Mais adiante, Sutherland explica o procedimento para desenhar o círculo: “posiciona-se a caneta luminosa onde será o centro, escolhendo um ponto do círculo (que fixa o raio), pressiona-se o botão ‘draw’ novamente e dessa vez obtemos um arco cujo comprimento é controlado como mostrado na Figura 1.4” (Sutherland, 2003).

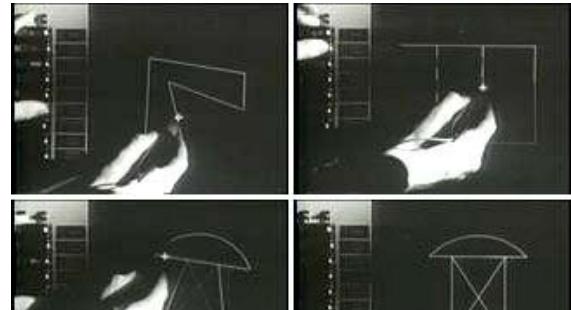
O Sketchpad de Sutherland foi pioneiro na noção de POO (programação orientada ao objeto²³), e na linguagem algorítmica aplicada ao desenho. Na programação orientada a objetos, implementa-se um conjunto de classes que definem os objetos presentes no sistema de software. Cada classe determina o comportamento (definido por algoritmos) e estados possíveis (parâmetros) de seus objetos, assim como o relacionamento com outros objetos. Sutherland apontou como uma das grandes capacidades desse sistema era a noção de regras de restrição²⁴. Elas foram definidas pelo autor como relações básicas que podiam ser estabelecidas entre partes do desenho construídas dentro do sistema. O usuário podia estabelecer regras para controlar as propriedades geométricas de objetos. As regras também podiam ser aplicadas entre objetos. As regras de restrição permitiam definir, por exemplo, que retas ficassem paralelas entre si ou tivessem o mesmo comprimento.

²³ Do Inglês object-oriented programming (OOP).

²⁴ No original em Inglês: **constraints**.

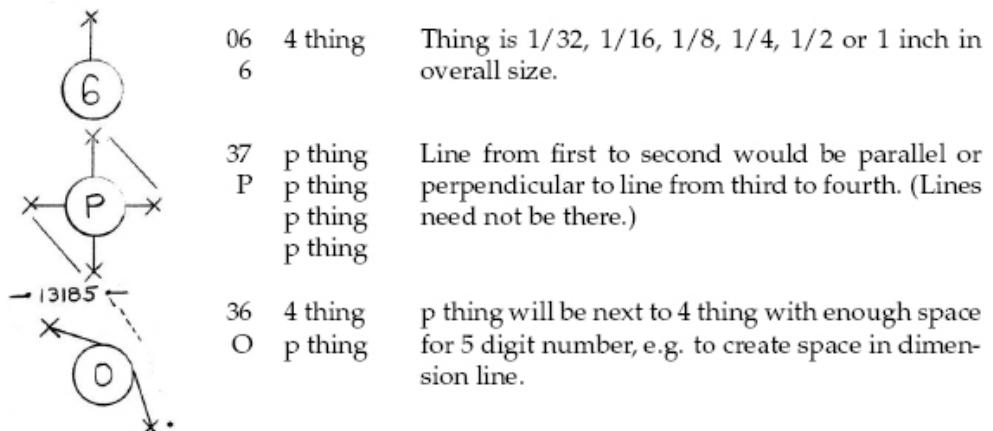
Figura 2.3: Regras de restrição (Imagem do documentário *Computer Sketchpad*, MIT, 1964).

Em demonstração, Sutherland desenhou uma figura irregular. O botão “horv” determinada que a linha selecionada fizesse ângulos de zero ou 90°. Através desse botão o Sketchpad corrigiu as linhas selecionadas.



Na realidade, essas regras de restrição eram definidas pelos algoritmos que constituíam as programações. Por exemplo, a regra “P” definia a relação de paralelismo entre quatro linhas através de um algoritmo onde essas regras eram estabelecidas. Quando determinada regra era aplicada e o usuário alterava uma das linhas, em função dos parâmetros alimentados no algoritmo o sistema podia adaptar as linhas de acordo com as novas condições. No Apêndice A da tese, o autor lista a série de regras que afirma ter desenvolvido com relativa facilidade. Novas regras específicas podiam ser programadas conforme a necessidade. Sutherland defendia que sua máquina não só era eficiente, como também bania a possibilidade humana de erro ou a intervenção arbitrária na execução dos algoritmos. Conforme será visto mais adiante, a importância dos algoritmos nas arquiteturas digitais cresceu tremendamente, a ponto de no início do terceiro milênio ser um dos principais caminhos de explorações formais dessas arquiteturas.

Figura 2.4: Regra de restrição “P” (Sutherland, 2003).



Outra contribuição importante foi o desenvolvimento da noção de “master-drawing” ou “master-graphic”, a partir do qual se podiam fazer muitas cópias. Se o usuário alterasse o objeto matriz, todas as modificações eram repercutidas nas suas cópias associadas. A modificação do objeto podia ser visualizada nas quatro janelas da tela, correspondentes às vistas de topo, frontal e lateral, além da perspectiva no canto superior esquerdo.

O autor apontou quatro aplicações básicas para o Sketchpad: para fazer pequenas modificações em desenhos existentes e assim formar uma “biblioteca” de desenhos; compreender operações científicas e de engenharia que pudessem ser descritas graficamente, como por exemplo, estudar encaixes de peças; fazer muitas cópias do mesmo desenho e como dispositivo de entrada de dados topológicos dos objetos. No Capítulo IX há a parte chamada “*Artistic Drawings*” onde Sutherland indica que o sistema também poderia ser empregado para outros fins que não na engenharia. Com as duas figuras abaixo, o autor tentou demonstrar possibilidades de uso para desenhos não técnicos. Com o exemplo da “Figura 9.8”, Sutherland dá subsídios para a elaboração de animações a partir do Sketchpad. Na “Figura 9.9”, o desenho foi feito no programa tendo como base uma fotografia. Muito embora a qualidade dos desenhos produzidos seja questionável, com o Sketchpad Sutherland introduziu grandes contribuições nas pesquisas de interface homem-máquina, indicando novos rumos para o desenvolvimento da computação gráfica.

Figura 2.5: Desenhos artísticos. Sutherland, 2003.

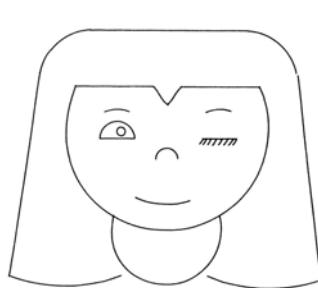


FIGURE 9.8.
WINKING GIRL AND COMPONENTS

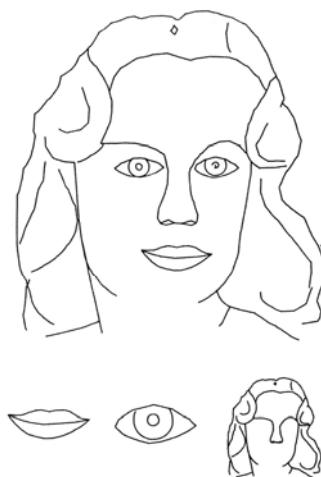


FIGURE 9.9.
GIRL TRACED FROM PHOTOGRAPH

Em suas reflexões sobre a natureza dos desenhos produzidos pela máquina, Sutherland afirmou que “as propriedades do desenho no computador são totalmente diferentes do desenho à mão, não só por conta da precisão e facilidade do traço, rapidez para apagar linhas, mas principalmente pela habilidade de mover partes do desenho no computador sem precisar apagá-las” (Sutherland, 2003). Em relação à concepção de projetos auxiliada pelo computador, na seção intitulada “*Sketchpad and design process*” Sutherland (2003) escreveu que “construir um desenho com o Sketchpad é em si um modelo de processo de concepção”.

“A habilidade do Sketchpad em satisfazer restrições geométricas aplicadas em partes de um modelo é a mesma habilidade do bom designer em satisfazer as todas as condições impostas pelas limitações de materiais, custos, etc. Na verdade, a partir do momento em que os designers de muitos campos produzem nada além de desenhos de partes [do objeto], desenhar as condições pode ser uma boa saída para a aplicação [do sistema] (...). Se tais condições forem adicionadas ao vocabulário de regras de restrições do Sketchpad, o computador pode assistir o usuário a chegar não somente num desenho bonito, mas também num bom projeto” (Sutherland, 2003).

No documentário produzido pelo MIT em 1964 para a *National Educational Television*, chamado *Computer Sketchpad*, Sutherland demonstrou que o sistema também permitia a construção de modelos tridimensionais para estudar a forma dos objetos. Ele demonstrou com entusiasmo a ‘materialidade’ dos sólidos produzidos digitalmente. Conforme o objeto era girado, as arestas posteriores eram ocultadas pelas faces anteriores, provando que o Sketchpad era capaz de processar e simular aspectos físicos no modelo digital construído.

A divulgação do sistema no documentário e em conferências estimulou o interesse nos potenciais oferecidos pelo CAD, especialmente entre engenheiros (Mitchell, 1977). Na arquitetura, as primeiras discussões sobre o tema começaram a ser publicadas nos Estados Unidos no início da década de 1960, com Dawson (1961), Eberhard (1962) e Souder ; Clark (1963). Durante essa década, as pesquisas mais significativas foram desenvolvidas no Departamento de Engenharia Civil do MIT e da Pennsylvania State University.

Na Europa, as primeiras aplicações de CAD foram realizadas na Inglaterra, mas com conotações diferentes da norte-americana. Naquele país, os esforços mais importantes no desenvolvimento dos sistemas CAD estiveram associados ao projeto de edifícios públicos de grande escala, com o emprego de componentes industrializados. Os britânicos se inspiraram no Sketchpad para desenvolver uma interface gráfica muito mais sofisticada. O sistema, instalado por William M. Newman no Laboratório de Matemática da Universidade de Cambridge em 1966, era usado para montar componentes industrializados em projetos

de edifícios²⁵ (Mitchell: 1977).

O computador suscitou discussões em torno das metodologias de projeto, dada a natureza totalmente distinta dessas novas ferramentas digitais. Os métodos computacionais resultam na instrumentalização do processo conceptivo, uma vez que este processo requer certos protocolos e modos de pensar específicos, assim como ferramentas análogas fazem. A natureza do código binário dos computadores implica na redução da informação no momento de transferência. São naturezas muito distintas de linguagem: um desenho à mão e um modelo digital. Essa transferência significa a reformulação de desenhos em linguagem de programação e/ ou equações matemáticas para descrever a mesma curva feita à mão.

A publicação mais influente desse período que demarcou essa mudança metodológica foi sem dúvida *Notes on the Synthesis of Form* (1964), de Christopher Alexander. Conta Mitchell (1977) que a publicação de Alexander despertou grande entusiasmo por aplicar ao projeto arquitetônico métodos sistemáticos, baseados em computação. Essencialmente, Alexander colocou em questão séculos de evolução e adaptação ao paradigma albertiano ao questionar a metodologia tradicional de concepção organizada em torno do desenho (Lawson, 2005). Segundo Bryan Lawson (2004, 2005) existem duas vertentes principais de estratégias de projeto: levar o foco para a solução do problema (“solution-focused strategy”), que é o modo predominante e/ ou o foco no entendimento do problema (“problem-focused strategy”), como Alexander intentou. A diferença essencial entre as duas estratégias é que a ‘abordagem científica’ de Alexander enfocava no entendimento das regras que governam as relações entre partes do objeto arquitetônico. Já na abordagem tradicional, os arquitetos tendem a focar na busca por certos resultados desejados.

O projeto arquitetônico é um caso particular de projeto porque o objeto final não é pré-definido. As longas e complexas exigências programáticas são permeadas por diversas demandas sociais, culturais e tecnológicas que são traduzidas pelos arquitetos em parâmetros quantificáveis e não quantificáveis a serem considerados durante o projeto. Ao contrário de outras áreas como a Engenharia Civil, por exemplo, onde o objetivo é resolver um problema particular da melhor maneira possível, o projeto arquitetônico está em aberto, em fluxo, gerando certo grau de incerteza no momento da concepção. A manipulação

²⁵ A lógica de desmembrar o edifício em componentes industrializados e simular as articulações entre peças em sistemas gráficos para produzir objetos arquitetônicos continua sendo o mote de algumas escolas de arquitetura da Inglaterra até os anos 2000. A *Architectural Association*, em Londres, por exemplo, utiliza o software *Generative Components* em seus cursos de graduação e pós-graduação.

'correta' das informações codificadas, como normas, códigos, especificações, tipos ou simplesmente se adequar aos requisitos estritamente funcionais não são garantias de que a solução de projeto seja bem sucedida. Decidir sob a incerteza requer experiência, intuição e criatividade que, no entanto, não devem ser confundidas com a capacidade de solucionar problemas ou de planejar.

Para identificar os problemas de projeto de arquitetura, é necessário descrever e compreender o processo de projeto. O escopo das pesquisas sobre metodologia de projeto é formular abordagens sistemáticas e eficientes para orientar as etapas de concepção. Uma vez que não há fórmulas ou passos específicos pré-determinados que possam traduzir efetivamente as relações entre forma e função para criar novos objetos arquitetônicos internamente consistentes, o projeto arquitetônico é tradicionalmente considerado como arte e não como ciência (Terzidis, 2006).

A atividade de projetar é, portanto, entendida como o processo iterativo, baseado na 'tentativa e erro' onde o conhecimento prévio, a experiência e a intuição desempenham papel fundamental. Essas abordagens que tomam a intuição como base do processo conceptivo são frequentemente chamadas de "teoria da caixa preta²⁶" (Terzidis, 2006). A presença da intuição como uma fonte de inspiração, decisão ou ação significa que certas decisões de projeto não são necessariamente explícitas, racionais, objetivas ou seguem ordens claras. Na realidade, muitas vezes podem ser consideradas arbitrárias ou obscuras e, como tal, 'pretas'. Desse modo, tanto o projeto quanto sua avaliação tendem a ser altamente subjetivos.

O processo de projeto enfocado na solução de problemas é fortemente dependente de soluções previamente conhecidas e no reconhecimento das situações de projeto onde essas soluções podem ser empregadas (Lawson, 2004). Dentro desse contexto, o desenho, ou melhor, o croqui desempenha o papel essencial, porque funciona como mediador no diálogo entre arquitetos e o fazer arquitetura. É por meio de desenhos que o arquiteto testa, experimenta e reinventa soluções com liberdade muito maior do que seria possível no método vernacular²⁷. Arquitetos produzem desenhos de soluções possíveis, bem como de fragmentos de soluções ou mesmo características que as potenciais soluções devem ter. A perspectiva de Donald Schön, reconhecido estudioso do assunto, é muito ilustrativa desse

²⁶ No original: "Black Box Theories".

²⁷ Ver Capítulo 1 desta dissertação.

processo. Segundo ele, os arquitetos “têm uma conversa como o desenho e dessa conversa, reconhecem possibilidades dentro do seu conjunto de precedentes estocados ou materiais de referência” (Schön apud Lawson, 2005). O papel do desenho nesse processo é tão central que Cris Jones, outro importante estudioso de metodologia de projeto na década de 1960, definiu esse processo de projeto como “design by drawing” (Jones, 1963 apud Lawson: 2005).

Em contraste, a abordagem de Christopher Alexander foi chamada por Lawson (2005: 27) de “design by science”, pois pregava que o processo deveria ser menos arbitrário e mais lógico, seguindo os passos das explicações científicas. Na visão de Alexander, se o projeto poderia ser estudado como processo, então, era possível estabelecer a série de etapas racionais, justificáveis e coerentes. No entendimento de Alexander, a ‘lógica’ refere-se às regras segundo as quais elementos arquitetônicos podem ser combinados. Uma vez que são *regras*, podem ser *lógicas*.

No entanto, o poder da lógica só é real se há relações legítimas entre o sistema lógico e as forças presentes do mundo real. Em suma, para Alexander (1971), “o objetivo final de todo o projeto é a forma” e esta se define pela relação com o contexto. De acordo com o autor, a discussão sobre design arquitetônico não podia ser baseada apenas na forma, mas na deliberação entre forma propriamente dita e o seu contexto. A forma harmônica é resultado do ajustamento coerente entre as partes que formam o conjunto. O resultado da adaptação dos limites entre forma versus contexto que o designer decide examinar gera a “formal fitness” (Alexander, 1971).

Para atingir esse objetivo, Alexander partia da representação gráfica de problemas não-visuais por meio de diagramas de forças que simbolizassem as condições do contexto. O método de Alexander consistia em desmembrar os problemas em grupos e subgrupos e estabelecer as relações entre eles. Com isso, supunha que era possível atingir a definição da forma através de formalizações lógico-matemáticas que contemplassem tais relações. Uma vez que o problema tenha sido claramente decomposto, o arquiteto deveria ser capaz de encontrar as soluções para cada subsistema, representá-las diagramaticamente e depois montar os diagramas de subsistemas para produzir a solução final. Com o auxílio de Marvin Manheim, Alexander programou a série de software chamada HIDE, que era capaz de produzir cerca de seis decomposições diferentes (Milner in Negroponte, 1975).

Segundo Alexander, o uso da lógica trazia consequências importantes. A lógica era a ferramenta eficiente para tomar as informações da realidade e representá-la por meio de abstrações. A adoção do sistema lógico por abstração matemática permitia diminuir a interpretação, intuição e arbitrariedade em favor da racionalidade na tomada de decisão. A precisão na identificação dos problemas de projeto estimulava a compreensão dos aspectos que o processo de concepção envolve. A tentativa de Alexander foi incluir o maior número de parâmetros lógicos e quantificáveis possível que poderia influenciar no processo de tomada de decisão. Desse modo, a ‘caixa preta’ do processo ficava mais evidente, favorecendo a avaliação e crítica dos projetos.

No mesmo ano da publicação de Christopher Alexander, em 1964, foi realizada em Boston a IV Conferência “*Architecture and the Computers*”. O evento contou com a participação de personagens importantes como Walter Gropius, George Stiny e Christopher Alexander. As discussões iluminaram os potenciais e as limitações do uso dos computadores na arquitetura. Na ausência de base teórico-metodológica específica para clarificar os novos conceitos e inquietações surgidos com essas primeiras experiências de possíveis usos de computadores na arquitetura, os arquitetos revisitaram a teoria da arquitetura, conferindo-lhe o papel de atuar como mediadora na definição dos critérios e problemas envolvidos no processo de concepção.

Em sua palestra, Gropius afirmou que a compreensão sobre as novas demandas no planejamento urbano e na arquitetura exigiam novas ferramentas para realizar essas tarefas. O arquiteto preconizou que nesse contexto, os arquitetos deveriam manter suas mentes abertas para as conquistas das ciências e que o uso inteligente dos meios computacionais poderia propiciar liberdade cada vez maior ao processo criativo de projeto (Rocha, 2004). Segundo o arquiteto:

“Parece que estamos sempre errados quando fechamos a porta muito cedo para sugerir novas potencialidades, sendo muitas vezes enganados pela nossa inércia natural e aversão à necessidade de transformar os nossos pensamentos. Não sendo familiar ao vasto novo campo de sistemas de computador, eu quero ser cauteloso. Ainda acredito, se olharmos para as máquinas como ferramentas potenciais para encurtar os nossos processos de trabalho, que elas poderiam nos ajudar a libertar o nosso poder criativo (...) O que não posso prever ainda é um método viável para o arquiteto ou designer médio de usar essas ferramentas no momento em que elas são necessários. A ênfase será, certamente, na formulação inteligente das perguntas a serem respondidas pelo computador. Será que vai ser necessário formar uma nova profissão dos assistentes de arquitetura para a finalidade de articular os problemas a serem resolvidos na linguagem adequada do computador? Palestra de Walter Gropius na Conferência “*Architecture and the Computers*” realizada em dezembro de 1964, Boston. (Rocha, 2004)

A discussão sobre o tema continuou na apresentação de Christopher Alexander intitulada “*A much asked question about computers and design*”. Alexander , no entanto, apresentou posicionamento mais cético. O arquiteto defendeu que as ferramentas são artefatos técnicos, empregados para resolver problemas igualmente técnicos que não poderiam ser solucionados sem sua ajuda. Não há nenhuma aura de mistério em torno das ferramentas. Segundo Alexander, “o computador digital é, essencialmente um exército de funcionários equipado com livro de regras, lápis e papel, todos estúpidos e totalmente sem iniciativa, mas capazes de seguir exatamente milhões de operações precisamente definidas. Não há nada que um computador possa fazer que um exército de funcionários não pudesse, se lhe fosse dado o tempo” (apud Rocha, 2004). Mais adiante completa: “o esforço para exprimir o problema de maneira que um computador possa ser usado para resolvê-lo pode distorcer a visão do problema. Isso nos permitirá considerar somente os aspectos do projeto que podem ser codificados – e em muitos casos são os aspectos mais triviais e menos relevantes” (apud Rocha, 2004).

Nesse momento de dúvida em relação à capacidade cognitiva do computador e de seu papel frente à concepção de novos espaços, talvez a maior contribuição de Alexander tenha sido identificar que a questão crucial do uso de computadores na assistência do projeto estava na metodologia. Muito além disso, Alexander deixou claro que a compreensão verdadeira da capacidade dos computadores em assistir o projeto passava pela necessidade de precedê-la com o questionamento sobre quais são os problemas que solicitam a máquina para resolvê-los para em seguida entender como fazê-lo com a nova ferramenta disponível:

“Nesse momento o computador pode mostrar as alternativas que conhecemos. Esta não é uma limitação do computador, mas da nossa capacidade para conceber, em abstrato, outros campos alternativos relevantes. (...) É uma ironia que o mesmo instrumento inventado para diminuir complexidades imponha aos problemas que o desenho pode resolver restrições tão severas que a mesma fonte de complexidade tem que ser eliminada antes da utilização dos instrumentos que deve elucidá-la. Contudo, nosso trabalho consiste em aprender a ver as complexidades atuais do desenho de um modo tão claro que poderemos usar uma máquina para decifrá-los” (Alexander, 1971).

Décadas mais tarde, o filósofo Felix Guatarri colocou o mesmo problema da seguinte maneira: “embora seja comum tratar a máquina como um subconjunto da técnica, penso há muito tempo que é a problemática das técnicas que está na dependência das questões colocadas pelas máquinas e não o inverso. A máquina tornar-se-ia prévia à técnica ao invés de ser expressão desta” (Guatarri, 1992).

Alguns entusiastas como Murray Milne (in Negroponte, 1975) enxergaram a proposição de Alexander como a tentativa extraordinária de gerar o método para lidar com questões de projeto extremamente complicadas de modo razoavelmente sistemático. Com efeito, é possível identificar diversas contribuições no trabalho de Alexander que foram revisadas mais tarde com a evolução das ferramentas digitais e que serviram de base conceitual para o desenvolvimento de importantes subsídios das arquiteturas digitais, como a parametrização, as gramáticas da forma e os sistemas generativos²⁸.

No campo teórico, é possível extrair algumas chaves importantes que tiveram múltiplos desdobramentos no desenvolvimento das arquiteturas digitais. A primeira chave é a noção de que para o uso do computador transcender o papel de simples ferramenta de representação e gerar potenciais inovações na arquitetura era necessário investigar a estrutura do pensamento dos arquitetos. Mesmo não fazendo parte de seus objetivos e nem mesmo de sua crença, de certa forma Alexander conseguiu extrapolar o conceito geral do projeto via computador para além da substituição de uma técnica pela outra ao problematizar a estrutura de pensamento do designer no processo conceptivo. Ao serem questionados sobre a principal contribuição do método, os alunos pesquisadores de Alexander responderam que essa metodologia os havia ajudado a esclarecer sua própria estrutura de pensamento como arquitetos (Milne in Negroponte, 1975).

A segunda chave é investigar o papel da criatividade no contexto do processo de projeto. Segundo Milner (in Negroponte, 1975), o discurso de Alexander dava a impressão de que o projeto arquitetônico era simplesmente o resultado do processamento de informações corretas. Os software desenvolvidos por ele permitiam a manipulação de grandes quantidades de informações, bem como ordenar e reordená-las de modo conveniente à solução de problemas. Apesar de isso ser positivo, o próprio Alexander se convenceu com suas experiências práticas posteriores que no processo de projeto há algo chamado ‘inspiração’ que não pode ser explicado ou mesmo decodificado. Esse questionamento precoce é tão crítico que continua sendo tema recorrente na metodologia das arquiteturas digitais, não plenamente respondido. Aqueles que estudam metodologia de projeto ainda acham frustrante admitir que não há meios de definir aquele momento de inspiração criativa.

²⁸ Esses três conceitos serão retomados mais tarde.

Mas a contribuição mais significativa do trabalho de Alexander, inclusive segundo o próprio (Alexander, 1971), é a noção de **diagrama**. A força conceitual do diagrama é tamanha, que ele tem sido definido e apropriado de maneiras muito distintas por arquitetos em todo o globo, a começar por Peter Eisenman e Colin Rowe ainda na década de 1960. Não cabe aqui a análise profunda dos significados do diagrama na arquitetura. Isto seria um novo trabalho. No contexto desse estudo, o diagrama é entendido como o novo tipo de interpretação e representação do processo de projeto que não parte mais do desenho. É o novo instrumento do pensar arquitetônico por meio da abstração representacional que ocasionou, segundo Somol (in Eisenman, 2001) a fratura conceitual, técnica e metodológica do desenho ao diagrama; **a capacidade de diferenciar representação e raciocínio de projeto**, tão essencial para a formulação dos novos paradigmas em torno do digital.

Essa fratura não foi nem imediata e nem isenta de críticas. Segundo a análise de Milner (in Negroponte, 1975), Alexander não produzia desenhos, portanto, “não havia evidência de que estava produzindo arquitetura”. O posicionamento de Milner deixa clara a visão geral – e até contemporânea – de que os arquitetos associam fortemente o *desenho* à noção de arquitetura; o *ato de desenhar*, cujo valor foi tão crucial para os arquitetos que, “incapazes de pensar sem desenhar se tornou a verdadeira marca da profissão” (Banham apud Somol in Eisenman, 2001).

Apesar desse grande feito, a proposição de Alexander foi considerada falha por diversos autores, especialmente entre aqueles mais descrentes em relação à capacidade aos computadores, seja em função da dificuldade de execução, seja por equívocos conceituais quanto à consideração da natureza dos problemas de projeto (Lawson, 2004). Alexander esbarrou na dificuldade expressa de explicitar as etapas do processo conceptivo e delimitar os problemas de projeto para assim alimentar corretamente os sistemas computacionais. Dificuldade compreensível, tendo em vista que se tratava de um novo modo de colocar os problemas de projeto. Além disso, algumas das propostas metodológicas de Alexander se mostraram tão difíceis de serem implementadas que só puderam ser revisitadas trinta anos mais tarde, com o auxílio das ferramentas digitais que ele mesmo havia rejeitado.

Mas apesar dos sistemas disponíveis já apresentarem operações relativamente avançadas, Alexander não estava totalmente errado. As operações dos sistemas digitais disponíveis nesse período estavam concentradas em otimizar os processos de desenho, mas de maneira análoga ao gestual tradicional. Além disso, as linguagens de programação desenvolvidas até o momento eram mais complicadas, dificultando a criação de novos

software mais específicos às atividades de projeto. Por conseguinte, eram obstáculos consideráveis para as instigações sobre novas formas, como Alexander desejava. Com esses objetivos em mente, àquela época, o computador era de fato uma ferramenta consideravelmente limitada. Essas limitações ficam mais evidentes quando comparadas aos programas que tornaram as arquiteturas digitais possíveis.

Partindo de outra esfera de compreensão, o arquiteto francês Yona Friedman propôs a sua abordagem de ‘arquitetura científica’ fundamentada na “compreensão da arquitetura como sistema ela mesma” (Almeida, 2006). O tema da complexidade era colocado em questões como “a possibilidade de feedback direto do usuário via tecnologias da informação e comunicação, e estruturas construtivas adaptativas” (Almeida, 2006). Pregava que a arquitetura deveria ser móvel e adaptativa, atributos com os quais os arquitetos eram incapazes de lidar. Para garantir a mobilidade, era necessário o suporte de infra-estrutura técnica indeterminado e neutro (Almeida, 2006).

O foco principal de Friedman era a metodologia de projeto, fazendo referências à máquina processadora de informações, à teoria dos sistemas e à cibernetica²⁹. Para ele, o projeto era um sistema de fluxos de informações entre os clientes, arquitetos e produto final, isto é, a arquitetura propriamente dita, que Friedman chama inclusive de ‘hardware’ (Almeida, 2006). Nesse contexto, o arquiteto funcionava como mediador e processador de informações. Assim, Friedman considerava o processo de projeto como um sistema, “constituído, no tempo, pelas ações e interações dos sujeitos com a infra-estrutura. O sistema se organizaria, se desenvolveria, alternando estágios de ordem, desordem e organização em função das transformações nas necessidades dos usuários, dos desenvolvimentos tecnológicos, do próprio ambiente e contexto” (Almeida, 2006). “O arquiteto descreve seu sistema como uma estrutura dinâmica, multidimensional, cuja organização está fundada nas possibilidades de renovação em sua ‘mobilidade’” (Almeida, 2006).

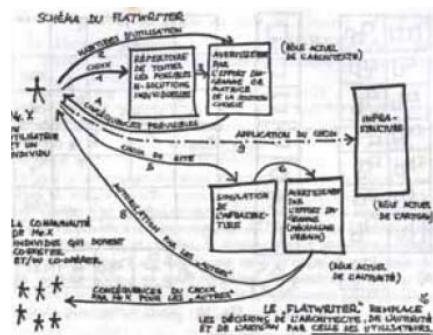
Em sua publicação *Pour une Architecture Scientifique* (apud Almeida, 2006), Friedman argumenta que há duas naturezas distintas de sistemas no momento conceptivo. O ‘sistema objetivo’, cuja abordagem é aproximada ao método científico, parte do princípio de que é possível estabelecer o número finito e racional de passos, regido por regras sequenciais. A repetição exata desse método resultaria invariavelmente no mesmo produto. O ‘sistema

²⁹ Conforme visto no Capítulo I, em 1948, o matemático Norbert Wiener cunhou o termo **cibernetica** para designar o estudo das relações entre máquinas e seres humanos como algo potencialmente além da mera questão funcional.

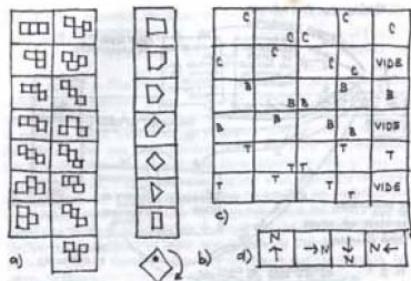
intuitivo', referenciado às artes, não é fruto de operações fixas e racionais. Prevê a utilização de um 'símbolo' que contém uma 'mensagem' que pode ser interpretada pelo usuário, de acordo com a sua própria bagagem sócio-cultural. É por meio da troca de informações entre esses dois sistemas, onde cabe ao arquiteto traduzir essa conversa e materializá-la sob a forma de arquitetura. O retorno correto da mensagem, ou seja, a arquitetura produzida depende do conhecimento preciso da natureza específica da ciência da informação e da comunicação.

Para Friedman, grande parte dos problemas de projeto é oriunda de falhas de comunicação entre arquiteto e cliente ou usuário. Com base nesses princípios, Friedman propõe sua própria versão de máquina para auxiliar no projeto de arquitetura. Seu sistema fictício, denominado Flatwriter (1971) poderia orientar o diálogo entre arquitetos e usuários. A proposta do arquiteto consistia na customização de habitações pelo próprio usuário, que poderia escolher "dentre 240 milhões de possibilidades oferecidas pela máquina por meio de 8 ou 9 diferentes combinações entre suas 53 teclas (entradas). Essa customização envolveria desde o layout dos equipamentos internos às orientações climáticas que a habitação poderia ter (...) a máquina então processaria e imprimiria as decisões do usuário, [...] 'sem contradição nem crítica' " (Almeida, 2006). Em etapa posterior, o usuário poderia alimentar o sistema com inputs mais específicos sobre suas necessidades particulares. No output de informações, o Flatwriter aconselharia o usuário sobre suas decisões, ajudando-o nas alterações. As habitações customizadas seriam demonstradas no monitor de TV.

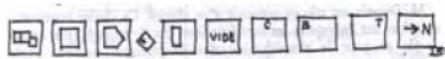
Figura 2.6: Esquemas de funcionamento do Flatwriter (Almeida, 2006)



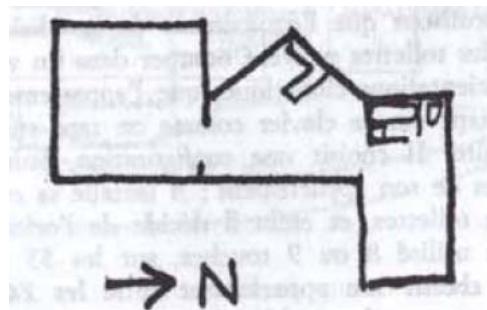
1. Esquema do Flatwriter.



2. Possibilidades de escolha no

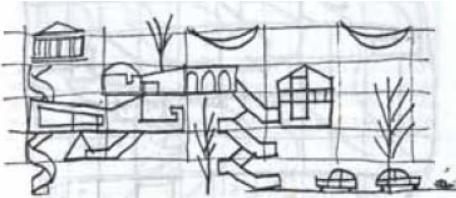


3. Output da máquina sobre as

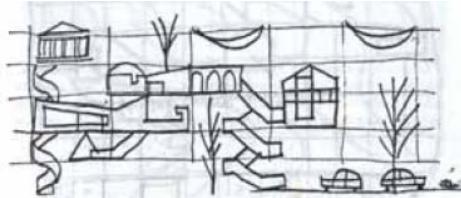


4. Plano resultante das escolhas do

5. Customização das escolhas do usuário em função de seu modo de



6. Corte das implantações dos apartamentos customizados.



Muito embora a primeira interface gráfica potencialmente utilizada na representação de objetos tenha sido desenvolvida na década de 1960, segundo Dollens (2002) a prática da Arquitetura auxiliada por computadores começou efetivamente nos anos finais da década de 1970, quando algumas escolas de arquitetura começaram a integrar o projeto assistido por computador em seus programas pedagógicos. Só então o mundo digital, a realidade virtual e a teoria digital passaram a fazer parte das inquietações de um pequeno grupo de arquitetos, enquanto que a maioria enxergou no mundo digital o potencial produtivo.

Enquanto na década de 1960 os arquitetos vislumbravam que o papel dos computadores no projeto de arquitetura era replicar o comportamento humano para substituí-los no processo

de projeto, na década de 1970, o interesse era criar sistemas que pudessem se comportar como ‘assistentes inteligentes’. Assim esperavam que os computadores suprissem as tarefas mais triviais e os deixassem livres para as tarefas mais importantes, como a tomada de decisões (Mitchell, 1977).

O primeiro ensaio sobre o potencial do uso de sistema CAD na arquitetura com essa abordagem foi escrito pelo ex-diretor do MIT Media Lab, Professor Nicholas Negroponte. Esse autor foi um dos primeiros a visionar a possibilidade de utilizar a ferramenta digital como parceiro na concepção da arquitetura e não como uma ferramenta de simples ampliação das capacidades motoras. Negroponte estava convencido de que para o computador ser realmente útil, deveria ser intensamente interativo com os usuários. No seu livro, *The Architecture Machine* (1970) Negroponte discutiu a idéia de parceria e diálogo entre o arquiteto e a “máquina arquitetônica³⁰”. Segundo ele, computadores eram máquinas intelectuais que permitiam que os usuários simulassem o comportamento humano. A abordagem de Negroponte considerava que as interações entre homem e máquina eram isomórficas, isto é, provenham de naturezas distintas, mas com pontos de interseção fundamentais que permitiam a interação em parceria. Portanto, Negroponte defendia a não divisão tradicional de tarefas entre máquina e operador. Segundo suas palavras,

“o processo de projeto, considerado evolutivo, pode ser representado em uma máquina também considerada evolutiva e o treinamento mútuo, resiliência³¹ e crescimento podem ser desenvolvidos (...). Eu consideraria somente a terceira alternativa e trataria o problema como a associação íntima de duas espécies distintas [homem e máquina], dois processos distintos [projeto e computação³²] e dois sistemas de inteligência [o arquiteto e a máquina arquitetônica]” (apud Rocha, 2004).

Assim como Alexander (1971), sua abordagem sugere que a introdução de métodos científicos e quantificáveis ao processo de projeto era o melhor caminho para superar as deficiências dos métodos tradicionais de projeção. Mas diferentemente do posicionamento de Alexander, Negroponte via no computador a ferramenta capaz de extrapolar a questão desde que seu potencial fosse direcionado para relações de parceria, tal como Friedman (1971) o imaginava. “Tal colega não pode ser o presságio de aposentadoria dos profissionais, mas sim um provocador da imaginação do arquiteto, apresentando alternativas

³⁰ Original em Inglês: architecture machine.

³¹ Dicionário Aurélio. 1.Fís. Propriedade pela qual a energia armazenada em um corpo deformado é devolvida quando cessa a tensão causadora duma deformação elástica. 2.Fig. Resistência ao choque.

³² No original “computaion”.

de formas possíveis não visualizadas ou não visualizáveis pelo designer humano” (Negroponte apud Kolarevic, 2003).

Com o objetivo de investigar possíveis interações homem-máquina e suas aplicações na arquitetura, Negroponte fundou um dos grupos de pesquisa em computação gráfica mais importantes da década de 1970: o *Architecture Machine Group*. O grupo, instalado no campus do MIT, realizou alguns feitos notáveis, como por exemplo, o *Aspen Moviemap* (1978), um projeto acadêmico, teórico e não comercial pioneiro na exploração de realidade virtual na arquitetura. O *Aspen Moviemap* foi um dos primeiros experimentos de representação do espaço arquitetônico a explorar as possibilidades do computador. Era bastante avançado para a época. Além de os computadores capazes de armazenar vídeos na memória só terem sido desenvolvidos uma década mais tarde, o projeto envolvia a manipulação de diversas mídias combinadas, controladas pelo computador.

Figura 2.7: Aspen Moviemap, 1979 (MIT Library).



O projeto consistia em criar um ambiente imersivo e realístico onde o usuário podia simular passeios pelas ruas. O computador criava esse ambiente processando imagens foto-realísticas. Seus idealizadores imaginaram a popularização do projeto como novo meio de experimentação de ‘turismo virtual’ em lugares de interesse especial, como terras

santas, paisagens espetaculares e patrimônios da humanidade. A intenção era que o maior número de pessoas pudesse apreciá-los sem se deslocar fisicamente. A vantagem sobre os livros de fotos, por exemplo, era a qualidade interativa de todo o processo. Muitos membros da equipe original se envolveram mais tarde em outros projetos similares, como por exemplo, os *moviemaps* de Paris (1985), de Palenque (1985), São Francisco (1987) e Karsruhe (Alemanha, 1990). Em 2004, a empresa Google lançou seu famoso *Google Earth*, feito mais próximo da proposta do *Architecture Machine Group*, cuja difusão foi possível somente com o incremento das ferramentas digitais, a popularização dos computadores e o

advento da internet.

Tal como Alexander, Nicholas Negroponte tomou as observações de D'Arcy Thompson (1917) sobre a influência das forças da natureza sobre as formas dos organismos e comparou com as forças urbanas que incidem sobre o projeto de arquitetura. Mas ao contrário de Alexander, Negroponte entendeu que somente com uma ferramenta poderosa, como o computador, tais forças poderiam ser demonstradas de maneira eficaz: “Forma física, de acordo com D'Arcy Thompson, é a resolução de um instante de tempo onde muitas forças são governadas por padrões de mudança. No contexto urbano, a complexidade dessas forças frequentemente excede a compreensão humana. Uma máquina, entretanto, pode propiciar formas que respondam a muitas dinâmicas heterogêneas não manejáveis” (apud Kolarevic, 2003). Como previu Negroponte, somente com os recursos propiciados pelas ferramentas digitais esses conceitos puderam ser analisados e testados.

Todas essas experiências importantes constituíram apenas duas possibilidades de como o projeto arquitetônico poderia ser conceituado: os sistemas de operações de marcação de pontos (*set-point operations*), como no Sketchpad e os sistemas de análise heurística e combinatória, como o HIDEc de Alexander, os algoritmos de Lionel March e o Flatwriter de Yona Friedman. Ambas serviram de base para a abordagem alternativa desenvolvida por George Stiny e James Grips em 1972, que se constituiu como “paradigma da gramática da forma³³” (Rocha, 2004). A gramática da forma pode ser definida como o sistema de geração de formas baseado em regras. Possui raízes no sistema de produção do matemático Emil Post (1943) e na gramática generativa do linguista Noam Chomsky.

“O sistema de Post consistia na substituição de caracteres em sequências de letras com o objetivo de geração de novas sequências (...). Uma gramática formal é uma estrutura computacional capaz de descrever uma linguagem formal por meio de regras e um alfabeto. As gramáticas formais podem ser do tipo generativa ou analítica. A gramática generativa, desenvolvida por Chomsky (1957) nos anos 50, consiste em um conjunto de regras por meio das quais pode-se gerar todas as sequências de palavras (frases) válidas em uma linguagem, por meio de substituições a partir de um símbolo inicial. Em uma gramática analítica, por outro lado, o processo se reverte, e a partir de uma sequência dada de palavras são feitas reduções sucessivas. O resultado é uma variável booleana do tipo ‘sim’ ou ‘não’, que indica se a sequência original pertence ou não à linguagem descrita pela gramática” (Celani; Cypriano; Godói; Vaz, 2006).

³³ No original em Inglês: “shape grammar paradigm”.

Stiny e Gips tomaram esses princípios para desenvolver sistema semelhante, baseado em formas geométricas e transformações euclidianas, em substituição aos símbolos matemáticos e permuta de caracteres. Os elementos da gramática da forma são submetidos a operações, tais como translação, rotação, espelhamento e rototranslação. “Além disso, é possível também adicionar e remover formas, e aplicar a transformação escalar, para que uma mesma regra possa ser aplicada a figuras semelhantes, porém de diferentes tamanhos” (Celani; Cypriano; Godói; Vaz, 2006).

A gramática da forma é formada pelo conjunto finito de unidades gráficas primitivas bi ou tridimensionais – elementos platônicos, linhas, planos, eixos – que constituem o vocabulário (Mitchell, 2008). Estes elementos são articulados por meio de regras aditivas ou subtrativas para gerar composições formais – ritmo, proporções, simetrias, assimetrias e assim por diante (Mitchell, 2008). Do mesmo modo que as gramáticas linguísticas, a gramática da forma parte de um conjunto de elementos simbólicos que são classificadas de acordo com suas funções específicas que podem ser combinados a partir de regras escolhidas para gerar sistemas significantes. Por exemplo, nas frases abaixo, as palavras pertencem a classes diferentes sobre as quais incidem regras específicas para ordená-las de modo a gerar sentenças inteligíveis dentro da linguagem particular:

- (i) A menina dança;
- (ii) Dança a menina;
- (iii) A dança menina.

Alterando-se a ordem entre as palavras, o sentido da frase pode ser alterado ou até mesmo perder o sentido, como acontece na sentença (iii). Da mesma maneira, a aplicação da gramática da forma na arquitetura pode ser ilustrada da seguinte maneira:

“A gramática da forma é um conjunto de regras que se aplicam como um passo-a-passo para gerar um conjunto, ou linguagem de desenhos. A gramática da forma é descritiva e generativa. As regras da forma são a descrição das formas espaciais dos desenhos. Podem também se relacionar com os objetivos de projeto que podem descrever qualquer coisa desde funções até significados, estética e assim por diante. Os componentes básicos das regras da forma são as formas. As formas podem ser entendidas como pontos, linhas, planos ou volumes. Os desenhos são gerados com as operações de forma. Geralmente, as aplicações das gramáticas da forma têm dois propósitos. Em primeiro lugar, as gramáticas da forma podem ser utilizadas como ferramentas de projeto para definir linguagens e estilos. Em segundo lugar, gramáticas da forma como ferramentas de análise do projeto podem ser usadas para analisar projetos existentes, a fim de compreender melhor os desenhos” (Knight, 2000).

Nessa abordagem são propostos novos modos de manipulação sobre os modelos computacionais que não dependem exclusivamente das possibilidades combinatórias do computador, mas também permitem a exploração da manipulação visual e a interpretação da forma em meio digital. Diferentemente dos métodos anteriores de Sutherland, Alexander e March, a gramática da forma se aproxima da abordagem de Friedman. Não parte de premissas fixas, mas da ‘descoberta’ do projeto ao longo do processo, em parceria com a máquina. Isso significou nova abordagem ao projeto assistido por computador.

No rastro desse paradigma, alguns anos mais tarde, William Mitchell, um dos principais arquitetos digitais pioneiros tanto na teoria quanto na metodologia, publicou o importante livro *Computer Aided Architectural Design* (1977). Mitchell desenvolveu uma espécie de manual onde explicou didaticamente algumas operações e potencialidades da nova ferramenta. Esse tipo de abordagem didática também seria manifestado em algumas de suas obras posteriores, como *Digital Design Media* (1994) em parceria com Malcom McCullough, onde os autores atualizaram as potencialidades dessa ferramenta. Talvez a contribuição mais significativa seja a sua proposição de **sistemas generativos³⁴** que voltaria amadurecida no livro *The Logics of Architecture³⁵* (1990).

Mitchell (1977) parte do princípio de que o projeto de arquitetura é um caso especial de solução de problemas. Sua abordagem presume que é possível construir representações dos problemas como sistemas. Nesse contexto, a solução de problemas pode ser caracterizada pelo processo de busca em meio ao conjunto de soluções possíveis. Em cada etapa do processo é possível avaliar o ‘estado’ de cada alternativa e escolher aquela que melhor atenda aos critérios pré-estabelecidos. Para a colocação dos problemas de projeto, é necessário fornecer

“descrições das várias condições que devem ser atingidas, as ferramentas e operações que estão disponíveis para encontrar uma solução e as limitações de recursos que devem ser utilizados (...). As informações sobre os problemas de projeto podem ser transmitidas oral, gráfica ou numericamente. As descrições podem ser imprecisas, feitas a partir de exemplos e analogias ou por especificações precisas e rigorosas. Elas podem ser escritas no papel ou armazenadas na memória de do solucionador de problemas (tanto um organismo vivo quanto um computador)” (Mitchell, 1977).

³⁴ No original em Inglês: “generative systems” (Mitchell, 1977).

³⁵ Ano da primeira publicação do título que foi traduzido para o português em 2008 com o nome “A Lógica da Arquitetura”.

Em sua perspectiva, a solução de problemas requer inicialmente, a obtenção de um objeto que se constitua como um candidato apropriado e segundo, verificar se esse candidato atinge a descrição dos objetivos pretendidos. No entanto, se o objetivo é encontrar algo que ainda não existe, como por exemplo, a prova de um teorema matemático ou o projeto de um edifício, então emerge uma pergunta fundamental: ‘como as soluções potenciais para consideração podem ser produzidas?’ Mitchell responde que os *sistemas generativos*³⁶ podem ser utilizados para gerar grande variedade de potenciais soluções, com base em descrições dos objetivos a serem atingidos. Por exemplo, analisando-se as partes constituintes essenciais de cidades, listando-se as alternativas para cada parte e depois efetuando-se combinações entre essas partes, em teoria, era possível obter desenhos de cidades diferentes (Mitchell, 1977).

2.2.1 Das idéias à prática: três aplicações pioneiras do computador na arquitetura

No documentário *Computer Sketchpad* (1964), o então diretor do Laboratório de Engenharia Mecânica do MIT, Steve Coons, apresentou o Sketchpad ao repórter como uma ‘máquina inteligente’, capaz de ‘conversar’ com o usuário por intermédio de desenhos. Na entrevista ele diz:

“Você verá um homem conversar com o computador através de desenhos. O homem vai desenhar e o computador vai entender seus desenhos. Você vai ver o designer resolvendo um problema. Ele não sabe exatamente como resolvê-lo e nem a solução final para o problema. Em cada nível de solução, ele vai investigar possibilidades, onde designer e computador estarão em cooperação nesta tarefa. Na maneira antiga de resolver problemas com o computador, o primeiro passo era entender totalmente o problema e depois descobrir quais passos seriam necessários para resolver esse problema. Neste caso, o computador nada mais é que uma máquina de calcular extremamente sofisticada. Agora, estamos tentando fazer com que o computador se pareça mais com uma espécie de assistente humano. O computador parecerá ter alguma inteligência. Não tem inteligência, na realidade; nós o alimentamos com informações, mas parecerá ter inteligência.” (Transcrição da entrevista de Coons para o Documentário da National Educational Television, EUA, 1964)

³⁶ Mitchell argumenta que a menção aos sistemas generativos existe desde Aristóteles. Desde a antiguidade, os sistemas generativos desempenharam importante papel na filosofia, literatura, música, engenharia e arquitetura. Ver Mitchell, 1977

³⁵ Os sistemas generativos se constituíram como caminhos importantes trilhados mais tarde pelos arquitetos digitais. Sendo assim, serão retomados mais adiante nesta dissertação.

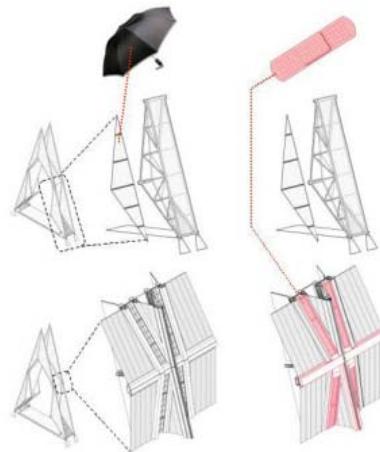
É possível observar que as primeiras incursões do uso do computador na arquitetura seguiram passos similares àqueles descritos por Coons. Os primeiros projetos arquitetônicos assistidos por computador se aproveitaram basicamente das possibilidades de cálculo oferecidas pela nova ferramenta. Nesses casos, o envolvimento do computador foi fomentado muito mais por demandas da engenharia de estruturas do que propriamente pelo desejo de novas investigações formais na arquitetura. Sem embargo, é possível perceber que houve reflexos consideráveis nessas formas arquitetônicas, em função dos avanços no cálculo de estruturas metálicas que os computadores alavancaram. Mais tarde, essa nova ferramenta foi apropriada como instrumento de representação e visualização dos projetos. Assim, os primeiros usos que os arquitetos deram às ferramentas digitais foram direcionados à produção de documentos de construção, organização do projeto e otimização da produtividade nos escritórios. Portanto, se situaram nas limitações dos modos analógicos de percepção e representação do espaço.

Um dos primeiros projetos experimentais de CAD na arquitetura foi o *Whitehall Plan*, para a cidade de Londres, realizado pelos professores de Cambridge Lionel March e Leslie Martin (Rocha, 2004). O projeto iniciado em 1965 consistia de uma série de jardins envolvidos por edifícios. Os estudos para alocar os edifícios e os pátios no terreno foram realizados por processos computacionais em cartão perfurado. Os pesquisadores da universidade envolvidos no projeto desenvolveram modelos matemáticos que representavam os aspectos físicos quantificáveis tanto dos problemas em escala urbana quanto da arquitetura dos edifícios. Esses parâmetros eram decodificados no software capaz de descrever as propriedades físicas dos edifícios para designar as melhores estratégias de ocupação. O software produzia exaustivamente soluções alternativas que satisfizessem as regras baseadas em descrições determinadas na programação. A principal conquista do projeto foi a possibilidade de descrever a forma geométrica dos objetos arquitetônicos e as relações entre objetos e entorno ‘simbolicamente’, ou seja, decodificando propriedades físicas em linguagem inteligível pelo computador de modo que a máquina pudesse interpretar e aplicar as regras de restrição estabelecidas.

Na prática arquitetônica, o escritório nova-iorquino SOM – Skidmore, Owen ; Merrill – foi um dos primeiros a utilizar programas de computador na arquitetura nos anos 1960. Um dos primeiros arquitetos a utilizar o computador no SOM foi Walter Netsch. O arquiteto usou o sistema de cálculo computacional chamado *Field Theory*, baseado na geometria euclidiana,

para auxiliar no projeto da estrutura da Capela da Academia de Cadetes da Força Aérea dos Estados Unidos³⁷. A capela, completada em 1963, é composta por 17 pináculos de alumínio e vidro, sendo que cada um deles é constituído de 100 tetraedros tubulares. Painéis contínuos de vitrais brilhantes revestem os tetraedros, deixando a luz difusa penetrar o espaço.

Figura 2.8: Capela da Academia de Cadetes da Força Aérea dos Estados Unidos. Detalhes do revestimento.



Não restam dúvidas sobre a inovação da proposta de empregar o computador para solucionar problemas do objeto arquitetônico. Contudo, o uso do sistema era limitado. Todo o desenvolvimento do projeto foi “dolorosamente desenhado, detalhado e revisado à mão³⁸”. Anos mais tarde, o arquiteto comentou a dificuldade de trabalhar com o sistema: “era muito trabalhoso. Aqueles que levaram o trabalho a sério gastaram muito tempo extra procurando uma única forma um pouco diferente³⁹”.

Ao mesmo tempo em que Netsch desenvolvia esse projeto, Bruce Graham, outro arquiteto do SOM e o engenheiro de estruturas Fazlur Khan trabalharam no projeto de altíssima torre de escritórios que requeria extensos cálculos estruturais. Graham e Khan convenceram os sócios do escritório a adquirir o computador para efetuar os cálculos. A compra era arriscada, já que os preços dos computadores na época eram assustadoramente proibitivos. Mas os sócios concordaram e Khan iniciou a programação da máquina para executar

³⁷ Informações disponíveis em http://www.som.com/content.cfm/blackbox_technological_trajectory. Acesso: 15 de maio de 2009.

³⁸ IBID.

³⁹ IBID.

equações de cálculos estruturais específicos para a forma arquitetônica esboçada por Graham. Provavelmente, foi a primeira experiência de programação algorítmica aplicada à arquitetura. Sobre a ocasião, Graham declarou que o escritório tinha “as ferramentas técnicas assim como a consciência de uma nova era⁴⁰”.

Mais tarde, os arquitetos do escritório empregaram esse computador para o desenvolvimento de desenhos arquitetônicos. Em 1967, Neil Harper e David Sides sob a supervisão de Bruce Graham e consultoria da IBM desenvolveram e implantaram no SOM uma rotina CAD chamada BOP – *Building Optimization Program*. A menção ao programa se justifica por duas razões principais: foi provavelmente o primeiro uso do computador para converter informações textuais com critérios de projeto em forma geométrica (Sides in Negroponte, 1975) e se constituiu como indicativo de usos posteriores do computador na arquitetura.

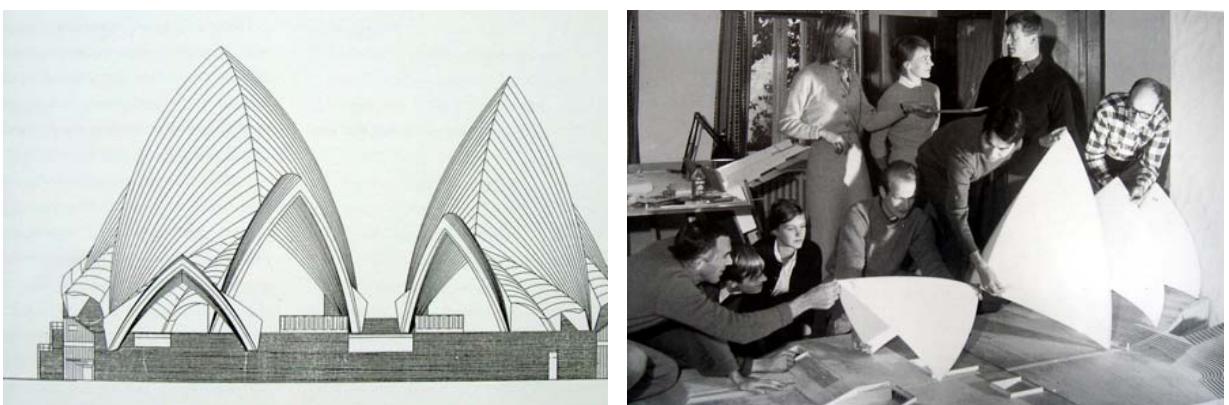
O BOP foi utilizado pela primeira vez para determinar o tamanho e a forma ótimos para o Aeroporto O’Hare, em Chicago. A partir dessa rotina, os designers puderam “definir fatores do projeto dos arranha-céus de escritórios que foram alimentados no sistema por linguagem de programação na língua inglesa e receberam outputs geométricos suficientes acompanhados de estimativas de custos da construção para preparar os documentos esquemáticos diretamente” (Sides in Negroponte, 1975).

As opiniões sobre a eficácia do programa eram heterogenias. Em 1971, o então professor da Universidade da Califórnia em Berkeley Vladmir Bazjanac (in Negroponte, 1975) conduziu um experimento para testar as vantagens do BOP. O grupo de estudantes da graduação foi dividido em dois times, onde somente um deles tinha acesso ao BOP. Bazjanac relata que não houve diferença significativa na qualidade dos projetos com e sem o auxílio do BOP. Na realidade, segundo suas observações, houve o efeito contrário do esperado. O uso do BOP não só limitou a solução espacial a apenas uma solução morfológica como também desencorajou a exploração de idéias inovadoras. Bazjanac atribuiu o mau desempenho à dificuldade de atender as longas exigências do projeto em língua computacional. O arquiteto conclui que o uso de modelos digitais para auxiliar o projeto distrai o designer de sua tarefa original de projetar o edifício. Além disso, os modelos digitais são desnecessários no processo conceptivo.

⁴⁰ IBID.

Um dos exemplos mais notáveis dos anos 1960 a expor as limitações não só dos modos tradicionais de concepção e representação da arquitetura, mas também dos programas computacionais de cálculo da época foi o projeto da Ópera de Sidney. O edifício foi fruto de concurso internacional vencido pelo arquiteto dinamarquês Jørn Utzon em 1956. A construção extremamente complicada teve muitos percalços. Levou ao limite a tecnologia da casca de concreto conhecida até então e se deparou com a dificuldade de representação de formas curvas com as ferramentas disponíveis. A obra foi iniciada em 1957 e levou treze anos para ser concluída.

Figura 2.9: Ópera de Sidney. Desenho e maquete enviados ao concurso.



O edifício é dividido em duas partes visualmente bem distintas. A plataforma elevada serve de plano neutro para destacar as formas belas e exuberantes dos telhados curvos, como se brotassem dela. A intenção do arquiteto era que a plataforma sobre a qual repousam os telhados funcionasse como uma faca, separando as funções primárias das secundárias: “no topo da plataforma, os expectadores recebem a obra de arte completa e embaixo da plataforma está toda a preparação para que isso aconteça” (Utzon apud Smith in Vidler, 2008). O resultado visual é impactante, mas o custo da proposta foi alto. A sustentação dos telhados sobre a plataforma adicionada à complexidade inerente às formas curvas das coberturas dificultou enormemente a execução, alterou a forma original e culminou na demissão de Utzon do comando da obra.

Inicialmente, a obra foi dividida em três etapas programadas para finalizar em janeiro de 1963. Na primeira fase, deveriam ser executados todos os trabalhos sobre o terreno e a plataforma; na segunda fase, o corpo do edifício e os telhados em casca de concreto e na terceira fase, os acabamentos e fechamentos (Szalapaj, 2005). Na ocasião do concurso,

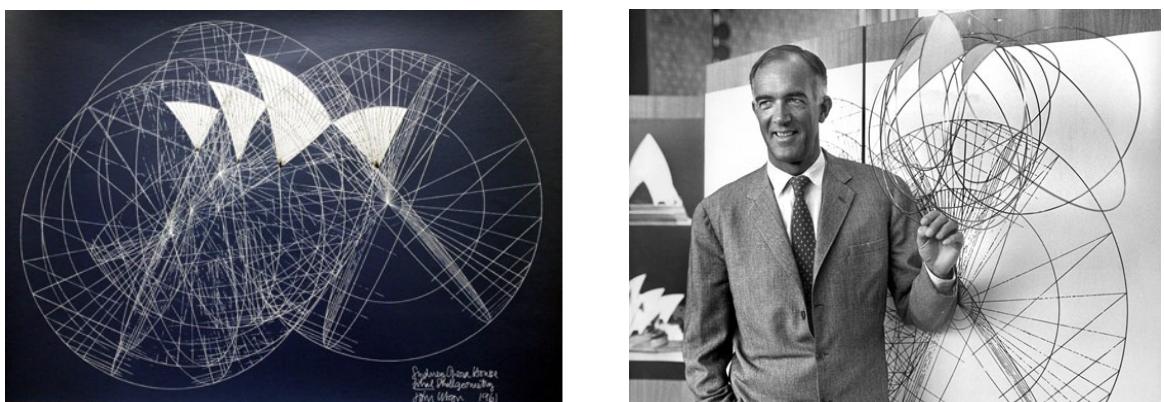
Utzon entregou uma maquete de madeira dos halls de entrada para demonstrar como eles deveriam se comportar sob a casca de concreto. No entanto, o estudo de Utzon se mostrou estruturalmente impossível em escala real e na configuração que ele desejava (Smith in Vidler, 2008).

Enquanto a primeira fase estava em andamento, Utzon e os engenheiros da firma de Ove Arup brigavam para alcançar a solução de telhado satisfatória para ambos os lados (Smith in Vidler, 2008). Depois de quatro anos de trabalho para calcular a estrutura, Arup apresentou uma solução que modificava completamente a forma do telhado das duas grandes salas de concerto. O engenheiro alegou ser impossível calcular a forma geométrica regular para os telhados a partir dos desenhos de Utzon (Szalapaj, 2005).

Um dos engenheiros de Arup, Peter Rice, desenvolveu um software que conseguia calcular a curvatura dos telhados desde que a geometria das curvas fosse regular. Apesar de a solução encontrada fosse tecnicamente viável, Utzon considerou inaceitáveis as mudanças na forma dos telhados. Até esse momento, os engenheiros de Arup já haviam somado 375 mil homens-hora para desenvolver a solução que Utzon havia rejeitado (Szalapaj, 2005). Foi o próprio Utzon que apresentou a solução adotada no final. Ele percebeu que cada segmento do telhado de cada hall poderia ser tratado como cortes regulares de uma esfera. Assim poderia ser estabelecida a familiaridade geométrica fundamental para a construção. Os componentes da estrutura tinham raios iguais e, portanto, todos podiam ser pré-fabricados e montados no local sobre as vigas de concreto similares. Os arcos das vigas traçaram a curvatura do telhado, que permaneceram aparentes vistas do interior (Smith in Vidler, 2008).

Segundo Terry Smith (in Vidler, 2008), a inspiração para a solução final veio do estudo do movimento do esqueleto e das penas de asas de pássaros durante o vôo. Utzon fez suas análises a partir da observação de fotografias dos vôos em ‘slow motion’. A analogia pode ser observada na maquete que Utzon produziu com essa solução. (Smith in Vidler, 2008). Utzon só pôde desenvolver essa solução debruçado sobre maquetes. Com o método projetivo tradicional, a visualização das formas complexas era extremamente difícil.

Figura 2.10: Ópera de Sidney. Diagramas com a forma final.



Disponíveis em www.arcspace.com. Acesso: 10 de junho de 2007

Figura 2.11: Ópera de Sidney. Corte da esfera para gerar as superfícies.



Disponíveis em www.arcspace.com. Acesso: 10 de junho de 2007.

Enquanto muitos arquitetos celebraram a solução de Utzon como grande realização de arte e geometria, outros argumentaram que a forma final apresentou certa rigidez se comparada com o traço livre e espontâneo dos primeiros esboços observados na ocasião do concurso. (Smith in Vidler, 2008). De fato, ocorreram redefinições na forma que custaram, além da perda de fluidez formal, a demolição e reconstrução de grande parte da plataforma para suportar a nova solução, muito mais pesada que a original em todos os aspectos (Smith in Vidler, 2008).

Comparando as experiências da Ópera de Sidney, da Capela da Força Aérea e do *Whitehall Plan*, é possível destacar algumas diferenças fundamentais:

1. O projeto de Utzon foi uma tentativa de adaptação do computador ao projeto concebido com lápis e papel que esbarrou nas limitações das ferramentas digitais da época. Já no *Whitehall Plan*, o computador foi usado como auxiliar na concepção do projeto. Portanto, as limitações da ferramenta são verificadas em outra ordem: na insipiência momentânea dos arquitetos em intervir na máquina de modo a criar sua própria ferramenta adaptada aos seus propósitos.

2. Ficou clara a distinção entre representação analógica e digital. Enquanto a representação tradicional é feita por meio de analogias ao objeto real, a representação digital é feita por meio de descrições matemáticas de relações entre objetos e a decodificação em linguagem computacional. O exemplo de Mitchell (1992) é ilustrativo: “Um relógio com mecanismo de mola que gira as hastes suavemente provê a representação analógica da passagem do tempo, mas o relógio eletrônico que exige a sucessão de números fornece a representação digital. O termômetro de mercúrio representa a variação de temperatura em modo analógico, pela expansão contínua da coluna de mercúrio, mas um termômetro eletrônico moderno substitui isso pela leitura digital”.

O matemático Ivan Sutherland (in Negroponte, 1975) talvez tenha sido um dos primeiros teóricos a perceber a natureza distinta da ferramenta digital emergente. Por se tratar de instrumento tão distinto, o erro primordial era tratá-la de modo similar às ferramentas analógicas, assim como McLuhan (1996) dissera: “o erro é tentar fazer o trabalho de hoje com as ferramentas de ontem – com os conceitos de ontem”. Segundo Sutherland, para que se produzissem desenhos realmente diferentes daqueles executados em papel com lápis era necessário descrever a estrutura dos desenhos, fato desconhecido nas primeiras versões dos sistemas CAD desenvolvidas por ele. Segundo Sutherland:

“O desenhista comum não está preocupado com a estrutura do seu material de desenho. Caneta e tinta ou lápis e papel não possuem estruturas inerentes. Eles só fazem marcas no papel. O desenhista está preocupado principalmente com os desenhos enquanto representação do projeto em evolução. O comportamento do desenho produzido no computador, por outro lado, é criticamente dependente da estrutura topológica e geométrica armazenada na memória do computador como resultado de operações de desenho. O desenho propriamente dito tem propriedades visivelmente independentes das propriedades dos objetos que estão descrevendo” Sutherland (in Negroponte, 1975).

3. No *WhiteHall Plan*, o foco foi deslocado da representação simbólica do objeto por meio de desenhos para a preocupação com a descrição das propriedades do objeto. A proposição era o sistema de input de relações descritivas e quantitativas das propriedades dos edifícios – processamento – output gráfico. Essa mudança, ainda embrionária, foi o prelúdio das

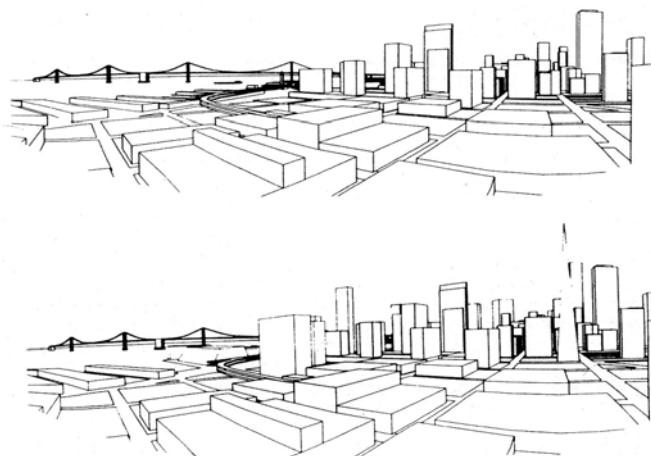
transformações metodológicas das arquiteturas digitais.

2.2.2 As promessas e desapontamentos da primeira geração de arquitetos digitais

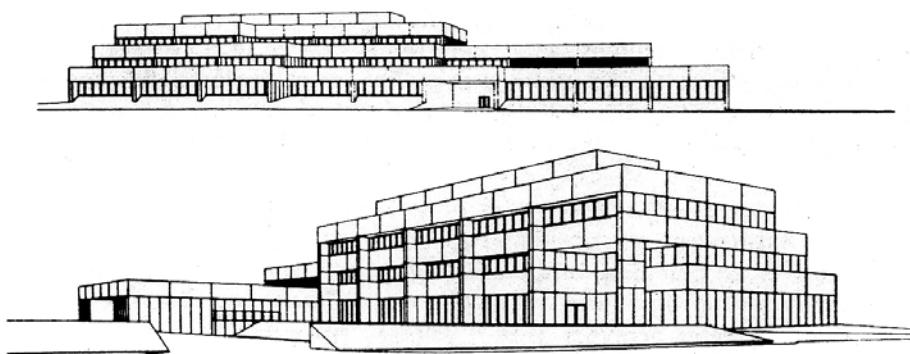
De acordo com o que foi visto até aqui, nos anos 1960 as interfaces gráficas digitais consideradas ‘bem sucedidas’, como o Sketchpad eram direcionadas para as etapas do meio ao final do processo conceptivo. No início dos anos 1970, ficou evidente que o modo mais útil de utilização dos computadores seria empregá-los desde as etapas iniciais até o fim do processo conceptivo (Milne, in Negroponte, 1975).

A partir da década de 1970 os arquitetos pioneiros no projeto assistido por computador começaram a publicar seus primeiros produtos. Em meados da década, a publicação organizada por Nicholas Negroponte intitulada *Computer Aids to Architectural Design* (1975) trouxe a coletânea de artigos de diversos arquitetos e não arquitetos que haviam se empenhado no tema desde a década anterior. O tom dessa publicação dedicada à revisão da aplicação dos sistemas CAD desde a década anterior não era uniforme: trazia pouco entusiasmo e certa carga de ceticismo intercalada com experiências satisfatórias e depoimentos esperançosos no potencial da nova ferramenta. Em regra, as experiências satisfatórias foram alcançadas com usos do computador como ferramenta de representação. Dentre os aspectos mais celebrados, estava a capacidade dos computadores de gerar desenhos instantâneos, a partir dos modelos digitais.

Figura 2.12: Modelo digital da silhueta da cidade de São Francisco, antes e depois da inclusão do edifício proposto (Paradis in Negroponte, 1975).

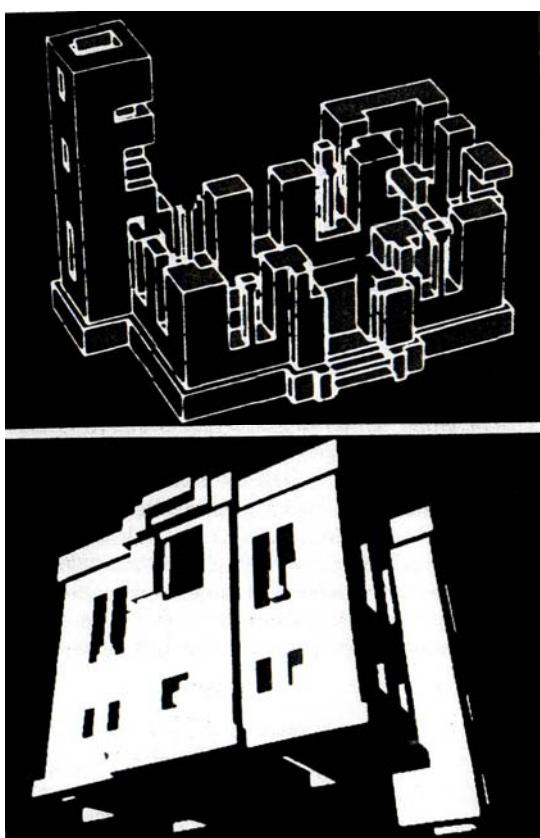


**Figura 2.13: Modelo digital do edifício de escritórios
(Paradis in Negroponte, 1975).**



O arquiteto forneceu croquis à mão a partir dos quais foi construído o modelo digital. O arquiteto pôde escolher duas vistas diferentes para compor a apresentação do projeto junto ao cliente. As perspectivas continham detalhes completos. Alguns dias depois, o arquiteto alterou o detalhe das janelas. Em apenas um dia a nova perspectiva detalhada gerada via computador estava pronta.

Figura 2.14: Avanços na representação de modelos digitais com objetos opacos (Ivan Sutherland in Negroponte, 1975)



Modelo construído em 1963 (acima) e retomado em 1970. Sutherland (in Negroponte, 1975) exaltou os avanços obtidos. Por exemplo, no modelo de 1963, era possível representar os sólidos corretamente; problema sanado no modelo seguinte.

Segundo Vladmir Bazjanal (in Negroponte, 1975), das três promessas principais do uso de sistemas CAD enunciadas por seus entusiastas, nenhuma foi cumprida. A primeira promessa era que os computadores livrariam o designer das distrações e das tarefas improdutivas. Com isso, permitiriam que ele devotasse mais tempo ao projeto. A automação das tarefas não criativas tais como a confecção de desenhos de representação, a manipulação e armazenamento de

informações. Uma vez livre dessas obrigações, o designer poderia dedicar mais tempo à tarefa mais importante, ou seja, o projeto propriamente dito. A vantagem explícita era o aumento na produtividade e a vantagem implícita era a concepção de projetos melhores. A segunda promessa era que com a ajuda dos modelos digitais, o arquiteto poderia simular a performance dos edifícios projetados e de possíveis soluções alternativas e na terceira promessa, os computadores ajudariam no armazenamento da experiência acumulada do passado estaria disponível instantaneamente para cada novo projeto.

De acordo com os relatos em geral, a expectativa comum entre arquitetos e usuários era que o uso de computadores na concepção de projetos fornecesse ‘credibilidade’ e não ‘precisão’ (Bazjanac in Negroponte, 1975). O que procuravam era um mecanismo para o qual se pudesse transferir a responsabilidade de tomar decisões difíceis e/ ou arriscadas. No entanto, as informações adicionadas aos modelos eram tão arbitrárias que tornava difícil creditar veracidade aos resultados obtidos.

Dentre as lições mais importantes, ficaram claras certas limitações das ferramentas digitais disponíveis. O processo de projeto tinha que lidar com mais imprecisões e situações imprevisíveis que a máquina não era capaz de simular. O processo de projeto não poderia ser rastreado explicitamente. Durante o processo de projeto, os arquitetos se vêem diante de novas perguntas o tempo todo. Já os computadores revelaram grande incapacidade de lidar com novas perguntas. As soluções obtidas com a máquina eram repetitivas.

Da mesma maneira, foi percebido que mais importante do que a quantidade de informação armazenada na memória das máquinas, era saber como utilizá-la. A manipulação de bits de informação para produzir resultados significantes dependia não só da quantidade de informação, como também da capacidade de interpretá-las para gerar objetos arquitetônicos relevantes.

Ainda na visão de Bazjanal (in Negroponte, 1975), a noção de que o designer não precisaria entender como o computador gera a resposta, isto é, o conceito de ‘caixa preta’, era potencialmente nociva: “sem saber o que se passa dentro da caixa preta, o designer nunca poderá entender o quanto ele pode confiar na resposta; tudo o que ele pode fazer, é aceitar a resposta baseado na fé” (Bazjanal in Negroponte, 1975). Além disso, segundo esse arquiteto, o desenho é uma parte fundamental no processo de tomada de decisão. ‘Liberar’ o designer dessa tarefa e relegá-la à máquina provavelmente traria o resultado oposto do pretendido, ou seja, projetos de pior qualidade, já que a máquina não era dotada de

aspectos humanos essenciais à tarefa de projetar, como sensibilidade ou memória afetiva.

Ao lado das vozes defensoras, Steve Coons (in Negroponte, 1975) argumentou que esse tipo de problema poderia ser resolvido com a evolução das máquinas em sistemas inteligentes. Esse teórico vislumbrava o futuro promissor com computadores mais poderosos, com capacidades cognitivas. As relações simbióticas entre homem e máquina poderiam ser muito mais vantajosas do que a divisão de tarefas bem especificadas e divididas. Na mesma linha de pensamento, Murray Milne (in Negroponte, 1975) antecipou algumas características que os sistemas CAD futuros deveriam possuir:

“envolver uma base de dados integrada (provavelmente estruturado em lista) para fornecer os meios de coordenar as decisões de design e a produção de informação. Também deveriam conter rotinas capazes de auxiliar o designer na estruturação de problemas, elaboração de critérios, espaço gráfico e manipulação de volumes, piso e plano de layout, análise de custo, e a produção de desenhos de construção e especificações. Teria que ser escrito em linguagem que fosse universalmente acessível (...) e que teria que ser executado em equipamento ao alcance econômico até mesmo das empresas de arquitetura de menor porte” (Milne in Negroponte, 1975).

Para William Mitchell (1977) e Ivan Sutherland (in Negroponte, 1975) o principal entrave para a difusão dos sistemas CAD era basicamente econômico, fortalecido pela resistência e preconceito por parte dos arquitetos (Mitchell, 1977). O fator econômico explicava inclusive o motivo da aplicação dos sistemas CAD na arquitetura terem crescido à sombra da engenharia. Mitchell (1977). De modo geral, o orçamento disponível para o desenvolvimento de projetos das indústrias aeronáuticas e automobilísticas geralmente é muito alto, mas com pouco rebatimento no custo final do objeto. Além disso, estas indústrias têm grande disponibilidade de mobilização de capital para investir em equipamentos. Esse quadro genérico é muito diferente da realidade dos escritórios de arquitetura. Como observou Sutherland (in Negroponte, 1975), “o desenho feito pelo computador não tem muita aplicação onde os caros computadores são meros substitutos dos baratinhos lápis e papel”. Mais adiante completa: “o sistema CAD não é muito útil quando a estrutura do desenho dentro do computador puder ser usada para algo além da mera produção de uma imagem”.

Diante desse quadro adverso, Murray Milne (in Negroponte, 1975) observou que uma das consequências percebidas foi o retorno da profissão da arquitetura para os métodos tradicionais de projetação a partir do final dos anos 1960. O resgate dos valores e aproximações tradicionais da disciplina foi notado tanto nas escolas de arquitetura quanto nos profissionais dos Estados Unidos e Europa. O autor atribuiu essa atmosfera de

desesperança a diversos fatores, tais como a própria crise econômica mundial da década, o elevado custo dos equipamentos e as poucas experiências bem sucedidas de uso dos computadores na arquitetura.

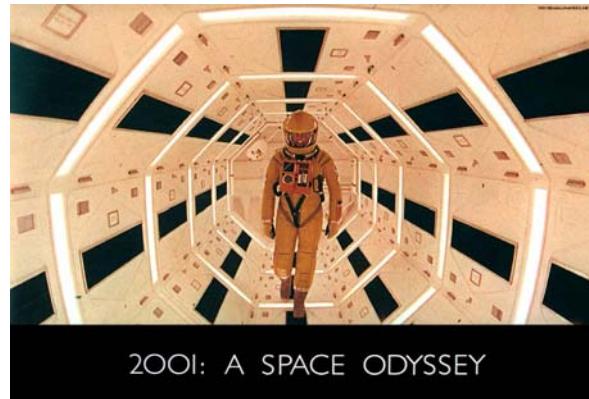
É importante ressaltar que a perda da fé no progresso técnico não aconteceu somente na Arquitetura. Autores como Ignasi de Solà-Morales (1995) e Josep Maria Montaner (1997) atribuem esse fenômeno à crise muito maior que assolou a cultura ocidental, a ‘crise do projeto moderno’⁴¹. Em sua avaliação sobre a modernidade tecnológica nas décadas de 1960 e 1970, o filósofo Marshall Berman em seu livro *Tudo o que é sólido se desmancia no ar* (2007), afirmou com base em suas próprias observações que “ser moderno é viver uma vida de paradoxo e contradição” (Berman, 2007). A mesma tecnologia que aumenta a nossa capacidade de cura e permite que o homem pise a lua também produz a bomba atômica e armas bioquímicas de destruição em massa (Capra, 1982). A confiança no poder da tecnologia em promover o bem estar humano saiu arranhada. Essa desconfiança teve suas repercussões na arquitetura. Segundo Josep Maria Montaner (1997), a vanguarda arquitetônica⁴² também atravessou uma crise entre as décadas de 1960 e 1970. Para o autor, “essa crise foi a expressão direta de uma situação geral de descrédito ao racionalismo do projeto moderno” (Montaner, 1997).

⁴¹ O ritmo otimista ascendente do projeto moderno foi rompido apenas com o detonar das bombas atômicas em 1945 (Harvey, 1993). Influenciado por esse momento trágico da história humana, a época do fascismo, do anti-semitismo e devastação provocada por duas grandes guerras, o ícone científico do novo período, Albert Einstein, enxergava a física como o triunfo último da razão humana sobre o mundo decepcionante e violento. Seu modo de olhar fortaleceu a oposição entre o conhecimento objetivo e o terreno do incerto e do subjetivo que dominou a segunda metade do Século XX (Prigogine, 1996).

⁴² No final do Século XVIII, o culto à originalidade deu origem aos movimentos de vanguarda arquitetônica. Ao longo do século XX, os movimentos de vanguarda foram marcados em parte pela tendência tecnológica, permanecendo orientados pela confiança no progresso tecnológico e o incentivo à ruptura das convenções em prol da originalidade, temperada pelo discurso da transgressão. O culto à novidade tinha como respaldo a busca por respostas às novas necessidades que a sociedade em constante progresso demandava. De acordo com o crítico de arte e arquitetura Josep Maria Montaner (1997), as criações das vanguardas artísticas e arquitetônicas no princípio do Século XX seguiram alguns princípios formais básicos, dentre os quais interessam particularmente aos objetivos dessa dissertação a abstração e o caráter anti-referencial, o que significou a busca por formas novas, de inspiração abstrata; o culto à novidade, encarnado no ‘espírito dos tempos’ que encontraria na tecnologia o veículo de expressão; busca de formas dinâmicas e expressão formal; inspiração no universo da máquina e o uso da alta tecnologia como aliada.

Figura 2.15: Cena do filme “2001: Uma odisséia no espaço” (1968).

O clima de descrédito tecnológico do final dos anos 1960 também pode ser percebido nas artes. No cinema, uma das produções mais evocadas para ilustrar esse momento é “2001: Uma odisséia no espaço” (1968). Na película, Kubrick nos leva a perceber o quanto estamos inadaptados ao nosso próprio ambiente. À medida que o homem invadia novos espaços, eram necessários cada vez mais artefatos para a sua sobrevivência e os territórios conquistados. O supercomputador Hall 9000 tinha memória sentimental, curiosidade e desejo de aprender. Sua inteligência ‘humana’ o leva disputar com a tripulação pela sua própria sobrevivência, gerando conflitos perigosos. A capacidade de se livrar do problema se dá quando o protagonista desliga o supercomputador com a mais elementar das ferramentas – uma chave de fenda.



Talvez esse clima geral de fracasso e insucesso explique o longo período de esvaziamento das discussões sobre metodologia de projeto via ferramentas digitais, que só foram retomadas em fins da década de 1980. Também pode explicar o tom investigativo da década seguinte, voltado para o melhoramento das técnicas de representação. Mas como havia previsto Coons (in Negroponte, 1975), Sutherland (in Negroponte, 1975) e Mitchell (1977), com a popularização dos computadores em meados da década de 1980 e sua proliferação na década de 1990, a metodologia de projeto voltaria à pauta de discussão.

Dentro desse contexto, as observações visionárias de Sutherland (in Negroponte, 1975) merecem destaque. O matemático precipitou que na evolução do projeto assistido por computador, os modelos digitais seriam considerados como *construções oriundas de descrições computadorizadas dos objetos projetados*, e não mais como processos de desenho de representação. Sutherland imaginava que os sistemas CAD futuros forneceriam outputs gráficos acompanhados de definições qualitativas dos objetos, como listas de materiais; estimativas de custo; cálculo de áreas; simulações de aquecimento, iluminação e ventilação para verificar a adequabilidade do projeto, entre outras informações auxiliares. “Apenas quando a versão computadorizada do projeto se tornar o **documento master** a partir do qual todas as informações auxiliares sejam derivadas, preferencialmente com o auxílio do computador, será criado o sistema de projeto assistido por computador” (Sutherland in Negroponte, 1975, grifo nosso).

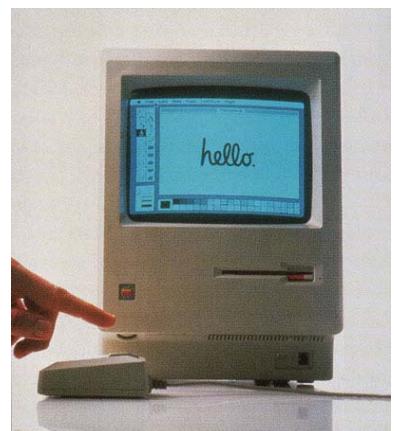
Como a representação dos objetos no sistema imaginado por Sutherland seria digital, a preocupação primordial seria a estrutura da descrição dos objetos arquitetônicos dentro da memória dos computadores. Isso permitiria o acesso às características ‘reais’ do edifício em projeto que poderiam se manipuladas, gerando outputs de novas formas. Como resultado, o ‘designer do futuro’ contaria com verdadeiros bancos de dados associados aos modelos digitais. O maior número de informações presentes no contexto do projeto facilitaria a tomada de decisão mais consciente (Sutherland in Negroponte, 1975). Com esse cenário, Sutherland antecipou em quase duas décadas as evoluções dos sistemas CAD fundamentais para a materialização das arquiteturas digitais, no final da década de 1990.

2.3 1980 - 1990: do CAD ao CAAD

No início dos anos 1980, pairava certa insatisfação na cena arquitetônica sobre o tema da metodologia de projeto como ciência. Os modelos propostos, inclusive aqueles que consideravam o computador como ferramenta auxiliar de projeto, foram considerados rígidos, inflexíveis, e de aplicação limitada (Cross, 1984). A complexidade da tarefa de projetar arquitetura ficava cada vez mais evidente. Para contornar a questão, os arquitetos procuraram expandir suas pesquisas para outros domínios investigativos, como por exemplo, o raciocínio e a natureza da atividade de projeto, cognição, organização, gerenciamento de projeto e outros aspectos. (Choughui, 2006).

Figura 2.16: Computador Macintosh (1984).

A partir do início da década de 1980, os computadores começaram a tomar parte substancial das pesquisas sobre processos conceptivos e cognitivos de projetos, fomentadas por descobertas no campo da Inteligência Artificial e das técnicas de modelagem (Choughui, 2006). Até o meio dessa década, foram lançados no mercado alguns importantes avanços tecnológicos que deram novos contornos à arquitetura. Nesse período, foram introduzidos os primeiros computadores pessoais com interface gráfica, as impressoras laser, os aplicativos baseados em linguagem *postscript* e a primeira versão do programa AutoCAD para sistema



DOS em 1982⁴³. Esse software desenvolvido para aplicação genérica no desenho técnico era baseado nos mesmos princípios do Sketchpad – *set point operations* – e foi particularmente importante. Até a década seguinte, se tornou extremamente difundido no meio arquitetônico, imprimindo novos padrões de apresentação dos desenhos executivos, além de elevar a produtividade dos escritórios de arquitetura.

A partir da metade da década de 80, o foco das investigações sobre o potencial das novas ferramentas digitais foi direcionado para a representação e visualização dos objetos em modelos tridimensionais. O período concentrou muitas descobertas que contribuíram significativamente para o desenvolvimento da computação gráfica. Segundo Mitchell (1992), o desenvolvimento dessas técnicas foi espelhado conceitualmente na Pintura. Conforme explica o pintor norte-americano David Hockney (2006), o grande salto qualitativo para representar ambientes e pessoas com ‘realismo’⁴⁴ foi dado quando houve a inclusão da correção ótica na perspectiva e o melhoramento da representação de luz e sombra. A mesma trilha pode ser observada nos modelos tridimensionais, com as técnicas de renderização e ray-tracing.

A **renderização**⁴⁵ é o processo de obtenção de imagens, sejam elas estáticas ou como animações, a partir do processamento digital. Este processo é executado essencialmente em programas de modelagem. A renderização é muito aplicada em objetos tridimensionais, para gerar a conversão de modelos eletrônicos em imagens bidimensionais, muitas vezes para apresentar montagens foto-realísticas de projetos. Normalmente, o designer escolhe ‘cenas’ do modelo, posicionando a câmera em altura e distância especificadas em relação ao objeto, como se fosse tirar fotografias ou desenhar a perspectiva a partir daquele ângulo. Para renderizar a cena é necessário, entre outras coisas, definir tipos de textura para os objetos existentes nos modelos, suas cores, graus de transparência e índices de reflexão e refração da luz. Também é necessário localizar uma ou mais fontes de iluminação e um ponto de vista a partir do qual os objetos serão visualizados. No processo de renderização, o programa calcula a perspectiva do plano, além dos efeitos de luzes e sombras que incidem sobre os objetos vistos da posição escolhida.

⁴³ Fonte: Autodesk.

⁴⁴ No sentido literal da palavra.

⁴⁵ O termo ‘renderizar’ vem do Inglês *to render*.

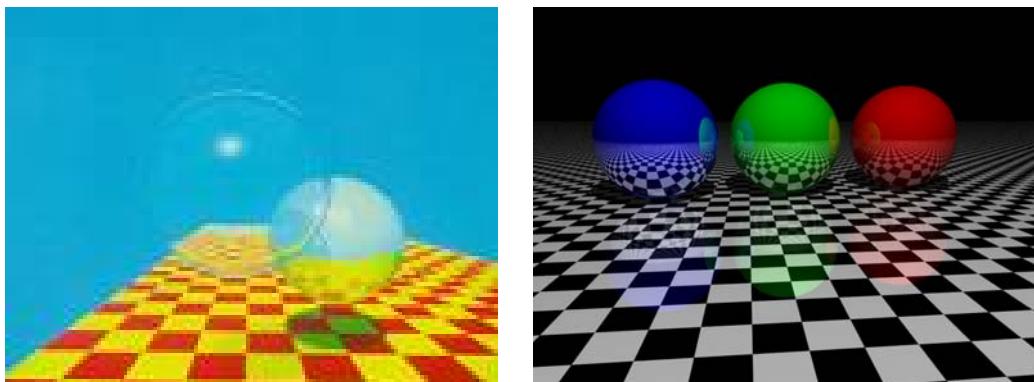
O **ray-tracing**⁴⁶ é um algoritmo de computação gráfica, usado para a renderização de imagens tridimensionais. Foi desenvolvido por Turner Whitted em 1980. Ele é utilizado nos mais variados ambientes e bibliotecas gráficas, especialmente em programas de modelagem, para o cálculo dos atributos de iluminação dos ambientes virtuais. O algoritmo simula o caminho percorrido pelos raios da fonte luminosa cujos parâmetros, como intensidade e temperatura de cor são estipulados pelo designer.

Para tornar o processamento factível, a técnica de ray-tracing opera este processo de trás para frente. No mundo físico, os raios de luz são emitidos a partir de uma fonte, cujas características produzem graus distintos de iluminância sobre os objetos da cena. A luz é então refletida por estes objetos e pode ainda passar através de outros objetos transparentes e semitransparentes. A reflexão da luz atinge os olhos do observador ou a lente de uma câmera que captam as nuances de luz e sombra. Como a grande maioria dos raios de luz emitidos pela fonte não são captados pelo observador, programar a simulação exatamente desta forma seria impraticável porque demandaria enormes processamentos que pouco influenciariam no resultado final. Assim sendo, o algoritmo do ray-tracing inverte o sentido dos raios de luz, passando o observador a ser a fonte. Desta maneira, são processados apenas os raios que efectivamente seriam vistos pelo observador numa situação real.

Em princípio, os software de modelagem foram voltados inicialmente suprir demandas das indústrias de entretenimento, especialmente para produção de animações. Foram apropriados pelos arquitetos basicamente para produzir maquetes eletrônicas, com raras exceções. As técnicas de renderização e ray-tracing aplicadas nas maquetes eletrônicas substituíram de maneira eficiente as belas e trabalhosas perspectivas feitas à mão. Mas tanto o ato de renderizar quanto a aplicação do ray-tracing exigem grande capacidade computacional. Por conta disso, essas tecnicas evoluíram em sintonia com os avanços das capacidade computacionais dos processadores.

⁴⁶ O termo constitui um conjunto de normas que não tem tradução exata para a língua portuguesa. Ray-tracing, grosso modo, significa traços de raios.

Figura 2.17: Ray-tracing em 1990 e 2009. Fonte: Autodesk.



No início dos anos 1980 somente os grandes escritórios como o já citado Skidmore, Owings ; Merrill e o Hellmuth, Obata + Kassabaum (HOK), além de poucos arquitetos dedicados às práticas de vanguarda, como Toyo Ito, I. M. Pei e Peter Eisenman se utilizavam de computadores. A tecnologia existente ainda era experimental e muito cara – por volta de 100 mil dólares entre hardware e software por Workstation (Pittman in Kolarevic, 2003). O arquiteto Jon Pittman trabalhou no início da década de 1980 em ambos os escritórios, SOM e HOK, de onde pôde acompanhar de perto o processo de substituição dos esquadros, régua paralela e compassos pela confecção de desenhos executivos por comandos e cliques no computador. De acordo com seu depoimento:

“Em meu trabalho no escritório HOK, eu me lembro de haver um funcionário cuja única responsabilidade era agendar os horários de utilização das ‘máquinas’. Nós tínhamos muitos projetos em andamento e muitos arquitetos que desejam ter acesso a essas máquinas extraordinariamente caras em relação ao custo do trabalho humano. Então, esse funcionário passava todo o seu expediente negociando com os gerentes de cada projeto para ter certeza de que cada um receberia o tempo adequado para o uso das máquinas. Eu me lembro do dia em que disse: ‘Michael, em três anos seu trabalho será extinto. A curva de custos se cruzará e compraremos máquinas suficientes para todos e não precisaremos mais agendar o tempo de uso delas. No lugar das pessoas serem baratas e as máquinas caras, teremos o contrário’. (...) Foi por volta de 1985 que vieram os computadores pessoais – a clássica ruptura tecnológica. No primeiro momento, foram vistas como tecnologias de baixo potencial e que não seriam levadas a sério pelas empresas, mas rapidamente ganhou força suficiente e lançou a promessa de que com a redução de seu custo, se tornaria onipresente nos escritórios. Por volta de 1990, as máquinas eram baratas e as pessoas passaram a ser os recursos onerosos” (Pittman in Kolarevic, 2003).

Ao longo dos anos 1980, a comunidade pesquisadora de gráfica digital estendeu essas idéias em várias direções diferentes. Todas essas inovações foram o ponta-pé inicial para a revolução profunda nos processos de concepção, representação e produção de elementos gráficos, incluindo os desenhos arquitetônicos. Essa revolução consubstanciada pelas

novas mídias digitais levou aproximadamente uma década para alcançar terrenos mais firmes.

Em 1992, o lançamento da versão 12 do AutoCAD marcou o início da difusão dos software de desenho assistido por computador. Até meados da década de 1990, os efeitos da evolução das técnicas de modelagem e renderização resultaram na disponibilidade de algoritmos práticos, executáveis em computadores pessoais de baixo custo, para a síntese de imagens em perspectiva coloridas e sombreadas. (Mitchell, 1992). Em meados da década de 1990, o computador já era considerado o mais importante avanço tecnológico a entrar nos escritórios de arquitetura. O domínio das ferramentas CAD passou a ser exigido daqueles que ingressavam na profissão. Ao final daquela década, os programas de modelagem já haviam sofrido refinamento suficiente para permitir a produção de montagens de objetos arquitetônicos em grau apurado de foto realismo.

Apesar da grande aceitação dos sistemas CAD na arquitetura, a introdução do computador nos escritórios não foi isenta de críticas. Em geral, mesmo os arquitetos mais conservadores reconheceram certas vantagens na confecção de desenhos arquitetônicos via computador. Principalmente aquelas localizadas na manipulação de informações sobre o projeto e o consequente aumento da produtividade. Mas muitos questionaram se a nova ferramenta poderia contribuir de fato para a quebra de paradigmas na disciplina como os arquitetos digitais pioneiros anunciam desde os anos 1960.

Com efeito, o fato de as pranchetas terem cedido lugar às Workstations não significou a modificação concreta e substancial na prática projetual da arquitetura nem na forma do objeto arquitetônico em si de imediato. As aplicações convencionais dos sistemas CAD operam com elementos sem nenhum valor semântico agregado (Aish in Kolarevic, 2003). Correspondem às operações de desenho tradicionais como linhas, arcos e círculos da mesma maneira que Sutherland já havia demonstrado no Sketchpad em 1963. Os sistemas CAD convencionais funcionam como ferramentas análogas ao gestual de desenho técnico tradicional, como simples instrumentos de representação, tal qual papel e prancheta eram. Por essa razão, as ferramentas digitais foram chamadas no popular de **prancheta eletrônica**.

Os métodos conceptivos tradicionais, com maquetes, croquis e desenhos em perspectiva foram mantidos, com raras exceções. Nesse contexto, geralmente o computador entrava em cena apenas no final do processo, quando as soluções do projeto já haviam sido definidas.

Assim foi delineada a prática que vigora até hoje em grande parte dos escritórios: a manutenção do método conceptivo tradicional, com o emprego dos sistemas CAD convencionais para a produção de desenhos técnicos e maquetes eletrônicas foto realísticas para apresentação dos projetos, como substitutas das tradicionais perspectivas.

O arquiteto Bryan Lawson (2005)⁴⁷ foi uma das principais vozes a recomendar o uso cauteloso dos sistemas CAD. Lawson (2005) se apoiou no argumento de que a única função do computador era substituir as técnicas de representação tradicionais para afirmar com razão que durante o processo criativo, os sistemas CAD tradicionais não têm uso senão de representação ao final do processo. Sua afirmação era justificada pelo fato de que as regras básicas de representação do desenho técnico e perspectiva, bem como a descrição dos objetos com a geometria euclidiana haviam sido mantidas, mesmo utilizando-se ferramentas digitais e maquetes produzidas em meio eletrônico.

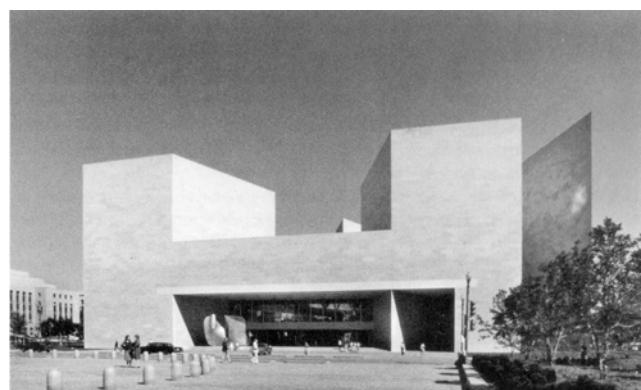
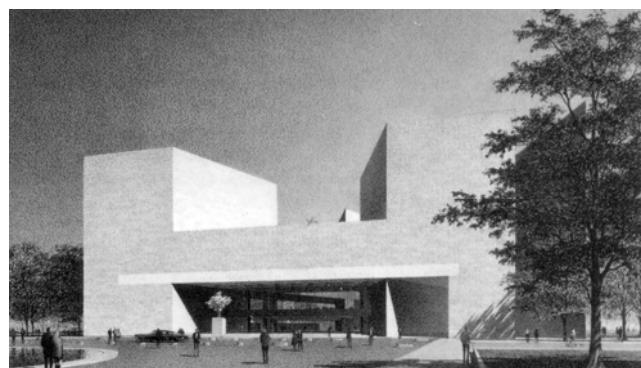
Seu argumento principal era que a carga simbólica e até informacional em desenhos analógicos tendem a ser mais poderosas que em expressões gráficas digitais. Segundo ele, em um desenho com ferramentas tradicionais, ou seja, lápis sobre papel, a mão acompanha melhor a velocidade do pensamento durante a concepção do que com o computador para realizar a mesma tarefa, com os mesmos princípios. Além disso, Lawson argumentou que o desenho à mão é um poderoso instrumento de conversação e interação entre designer e objeto. Na transferência dessas informações para o computador essa conversa é interrompida. Assim, o desenho via ferramentas CAD tradicionais torna-se um trabalho altamente mecânico e braçal, durante o qual o cérebro quase não é tão utilizado.

Por outro lado, as maquetes eletrônicas se mostraram instrumentos interessantes para estudos dos objetos arquitetônicos. De fato, as perspectivas à mão têm sido usadas para a representação de projetos arquitetônicos com sucesso ao longo de séculos. Em diversos casos, como no projeto de I. M. Pei para a *National Gallery East Wing*, Washington D. C., a técnica produziu resultados muito próximos da realidade construída. No entanto, a perspectiva também pode ser considerada um modo ‘não confiável’ de representação (Mitchell, 1992). As maquetes eletrônicas, por sua vez, não recaem no mesmo problema, já que a distorção é calculada precisamente nos algoritmos do software. Por exemplo, o

⁴⁷ Sua formação acadêmica é peculiar; além de arquitetura, Lawson também estudou psicologia para embasar seu interesse nos processos cognitivos inerentes aos métodos de concepção da arquitetura. Lawson divulgou seus 40 anos de estudo sobre o assunto em duas publicações interessantes: *How Designers Think* publicado originalmente em 1980, reeditado em 2005 e *What Designers Know* (2004).

arquiteto I. M. Pei lançou mão de um modelo digital para convencer o presidente da França Françoise Mitterand que a pirâmide de aço e vidro no átrio do *Museu do Louvre* (1984-1989) não seria obstrutiva (Mitchell, 1992).

Figura 2.18: Projeto de I. M. Pei para a *National Gallery East Wing* (Mitchell, 1992).



Acima, perspectiva de Paul Stevenson Olés e abaixo, edifício construído fotografado do mesmo ponto.

A partir dos anos 2000, a simplificação das interfaces com aplicações mais específicas para a arquitetura, como por exemplo, o software *Sketch Up*, facilitou a difusão dessa prática no meio. O uso de maquetes eletrônicas para estudos oferecem visualização rápida do espaço e das transformações efetuadas sobre eles. Geralmente cumprem o papel das maquetes físicas construídas para o mesmo fim com certa economia de tempo, já que as modificações são instantâneas. Uma vez atingido o objetivo, basta ‘renderizar’ a maquete para compor a apresentação do projeto. Como disse Mitchell:

"A característica essencial da imagem digital é que ela *pode* ser manipulada facilmente e muito rapidamente pelo computador. É simplesmente uma questão de substituir novos dígitos pelos antigos. Imagens digitais são, na verdade, muito mais suscetíveis à alteração do que fotografias, desenhos, pinturas ou qualquer outro tipo de imagem. Portanto, a arte da imagem digital não pode ser entendida adequadamente como primordialmente um ato de captura e impressão: o *processamento* intermediário de imagem desempenha o papel central. Ferramentas computacionais para transformar, combinar, alterar e analisar imagens são essenciais aos artistas digitais assim como pincéis e pigmentos o são para os pintores, e entendê-las é a base do trabalho da imagem digital" (Mitchell, 1992).

2.4 A ruptura

A ruptura fundamental ocorreu durante a década de 1990, quando o potencial de trabalho no mundo digital passou a ser explorado como ferramenta associada ao processo criativo. Desde o final dos anos 1980, alguns arquitetos como Marcos Novak, Greg Lynn, William Mitchell, Peter Eisenman e John Frazer iniciaram suas investigações sobre novas maneiras de criar formas arquitetônicas tendo as ferramentas digitais como principais protagonistas. Estes arquitetos descobriram que essas ferramentas forneciam novas operações sobre os objetos que o gestual da mão humana não conseguia reproduzir. A lógica dos sistemas também despertou questionamentos sobre a própria lógica da arquitetura até então encobertas pela aparente constância das ferramentas tradicionais de desenhos e projeção.

Com o incremento da velocidade dos processadores e da memória dessas máquinas, ficou cada vez mais claro que essa nova ferramenta poderia oferecer novas estratégias formais. O refinamento contínuo dos programas de modelagem tridimensional rapidamente estabeleceu novas abordagens dos espaços conceituais e construídos. Como resultado, surgiram novas formas espetaculares que desafiaram a capacidade imaginativa dos arquitetos. Desde então, esses arquitetos, chamados de "digitais" (Dollens, 2003), incitaram o questionamento sobre os cânones tradicionais da arquitetura.

O artigo *Architectural Compositions* (1988) de Marcos Novak pode ser considerado o marco inicial dessa nova abordagem. O autor esclareceu que o desenho assistido por computador surgiu na década de 1960 como um dos aspectos da fabricação assistida por computador

(CAM⁴⁸). Esse fato explicava porque as abordagens do sistema CAD na arquitetura foram orientadas unicamente para a solução de problemas e, consequentemente, para a representação de projetos. Até aquele momento, o desenho assistido por computador havia sido empregado para resolver problemas funcionais e programáticos, que “apesar de importantes, são secundários às perseguições culturais arquitetônicas” (Novak, 1988). O sistema CAD mostrou ser eficiente em usos racionais, científicos e tecnológicos, resolvendo os problemas dessas ordens, correspondentes à ‘primeira modernidade arquitetônica’. Ao longo da década de 1980, foi apropriado superficialmente por alguns arquitetos para gerar a nova iconografia do movimento Deconstrutivista. Em nenhum desses casos as ferramentas digitais foram utilizadas para explorar territórios ainda desconhecidos até aquele momento.

Para Novak, esse problema não era tecnológico, mas fundamentalmente ideológico, teórico e conceitual. A capacidade operativa das ferramentas gráficas digitais já havia evoluído significativamente de modo a permitir novas aproximações. A abordagem realmente inovadora do desenho assistido por computador deveria ser **artística**, superando a influência de sua herança natal. Novak sustentou sua afirmação explicando que dos três elementos da tríade vitruviana, somente *venustas* era exclusivamente arquitetônica; *firmitas* poderia ser atribuída aos engenheiros e consultores e *utilitas* variava de acordo com a necessidade. Dentro dessas premissas, as ferramentas digitais ainda não haviam provado sua habilidade em extrapolar a tradição arquitetônica. Sua sugestão “não era esperar compreender a arquitetura dentro do conjunto de software, era usar os software para explorar territórios desconhecidos da arquitetura, para se juntar e redefinir a vanguarda” (Novak, 1988). O arquiteto se orientou pelo seguinte questionamento:

“Nós podemos modelar a arquitetura. Podemos fazer computações sobre este modelo, calcular a estrutura, a iluminação, HVAC⁴⁹... mas será que nós fizemos alguma coisa para projetar a arquitetura? O projeto arquitetônico assistido por computador nos ajudou a desenvolver ídéias sobre arquitetura?” (Novak, 1988).

Novak identificara dois problemas essenciais nos software de CAD tradicionais que dificultavam essa passagem. O primeiro era que sua utilização básica orientada para a solução de problemas não reconhecia os elementos formais arquitetônicos. Portanto, desconsiderava todo o conhecimento da disciplina acumulado ao longo de séculos. Também desconsiderava demandas culturais que impunham certo significado à obra de arquitetura. O segundo era que esses sistemas não respondiam aos ‘aspectos normativos’ do projeto,

⁴⁸ CAM – Computer Aided Manufacturing.

⁴⁹ Cf. Anexo III.

ou seja, aqueles orientados por certos objetivos e intenções (Carrara; Kalay; Novembri, 1992).

Segundo Novak (1988), de modo geral, espera-se que as composições arquitetônicas sejam estruturas coerentes entre partes e todo, que transmitam a finalidade estética e entendimento tecnológico. Nesse esquema, a intenção de projeto pode preceder às considerações técnicas. O autor exemplifica seu pensamento afirmando que o problema arquitetônico nunca é colocado simplesmente como “quatro paredes e um telhado, mas como quatro paredes e um telhado que possuam certas características formais derivadas de idéias arquitetônicas que transcendem a função” (Novak, 1988)

As questões levantadas por Novak remetem ao mesmo questionamento de Sutherland (in Negroponte, 1975) na década anterior sobre a natureza distinta das ferramentas digitais. Conforme visto no Capítulo anterior, até meados do século XX não havia registros de questionamentos a ponto de se negar a natureza do suporte de representação, bem como dos instrumentos tradicionais de desenho. Da mesma maneira, não se questionavam as questões ideológicas embutidas nas técnicas empregadas na confecção de desenhos. Como havia observado Sutherland, as ferramentas analógicas de desenho não possuem estrutura ou conteúdo. O desenhista não questiona o lápis ou o papel. Quando os manipula, sua única preocupação é produzir desenhos enquanto representação do projeto em evolução.

Em contraste, o desenho produzido no computador é intimamente dependente da estrutura e da lógica inerentes ao seu suporte. Os aspectos elencados por Novak eram ignorados nas ferramentas analógicas porque a relação entre suporte e ferramenta é direta. Não há intermediação entre mente e mão que desenha. Por outro lado, o computador começou a despertar interesse por ser o único dispositivo além da mente humana capaz de representar informações simbolicamente, assumindo papel de intermediário entre o designer e o desenho (Carrara; Kalay; Novembri, 1992). Esse pensamento foi explicado por Therese Tierney da seguinte maneira:

“o digital é uma interface entre cognição e expressão. Com a integração de métodos digitais, (...), é possível enxergar que o desenho não funciona somente como um processo contínuo dentro do grande processo ininterrupto, mas potencialmente como fins em si mesmos. Isso pode ser fundamentada pela afirmação de DeLanda, de que a forma está sempre sujeita ao seu próprio processo interno, portanto está sempre se tornando algo. A atualização pode não ser necessária, ou mesmo possível. Isto contrasta com visões históricas que examinaram a arquitetura desenho como um artefato material (ainda que um

produto de forças sociais” (Tierney, 2007)

Para que o computador pudesse preencher os quesitos definidos por Novak (1988), ou seja, para a abordagem artística inovadora, os sistemas de desenho assistido por computador deveriam processar conhecimentos específicos da arquitetura. De acordo com o arquiteto, o que distingue o edifício bem projetado daquele mal resolvido são as *relações da estrutura compositiva* entre aspectos de proporções, harmonia, ritmo e assim por diante. Portanto, a abordagem realmente inovadora dos sistemas CAD deveria permitir a manipulação da estrutura compositiva da arquitetura, além de acomodar os aspectos normativos do processo de projeto. Em ambos os casos, “a ênfase deveria ser dada às relações entre partes e não na modelagem ou renderização de objetos em particular” (Novak, 1988, grifo do autor).

Para atingir essa meta, os sistemas de projeto assistido por computador deveriam possuir determinados atributos que permitissem “a manipulação do conhecimento utilizando-se abstrações de altíssimo grau, no lugar da [manipulação de] objetos em particular” (Novak, 1988). Os sistemas deveriam permitir que os arquitetos especificassem as variáveis de projeto, as relações entre elas e aplicassem processos generativos digitais com base nessas variáveis para produzir possibilidades compositivas. Essas novas ferramentas digitais deveriam incorporar novas capacidades técnicas a partir de novos tipos de descrições geométricas, por meio da **topologia** no lugar da geometria descritiva e a capacidade de promover interações entre partes do modelo, induzindo à noção de **parametrização**. Além disso, para que essas técnicas fossem efetivadas, era necessário incorporar ainda **relações temporais**, ou seja, o objeto poderia ser modificado ao longo de uma trajetória temporal e essas modificações poderiam ser observadas por meio de animações.

Em suma, os objetos arquitetônicos não deveriam ser representados com entidades de desenhos, mas deveriam ser descritos por parâmetros matemáticos, mutuamente influenciáveis. A manipulação desses parâmetros causaria mutações na forma, percebidas ao longo do tempo de duração das operações digitais. Se as idéias se tornassem arquitetura através desse tipo de movimento, seria mais precisamente um *processo* e não a representação. Em outras palavras, a inclusão do fator tempo permitiria a passagem da representação de objetos para o processamento de objetos, ou seja, o permitiria o deslocamento de foco da representação assistida pelo computador para o **processo** de projeto assistido pelo computador. A arquitetura já não mais seria definida pelo repertório de soluções a priori, mas pelo processo de tornar-se algo por meio de processos

generativos digitais. Isso resultaria em arquiteturas contingentes, incertas e instáveis porque suas representações, uma vez concebidas como fixas, agora poderiam ser concebidas como resultados de processos interativos; como outputs de processamentos digitais. Se uma entidade sofre o processo de tornar-se algo, então deve estar fora da esfera de previsibilidade. Tierney (2007) argumentou que esse questionamento foi fundamental porque desafiou pressupostos lógicos de causalidade herdados do pensamento teleológico do projeto moderno, colocando em xeque o paradigma albertiano. Segundo suas observações:

"A forma não é mais estática, imposta de fora da estrutura com propriedades homogêneas ou um comportamento que pode ser assimilado pelas características de modelagem de sólidos, mas é bastante influenciado pelas propriedades das ferramentas utilizadas, sob a forma singular do material digital. Portanto, ele traz à tona os processos geradores e suas possibilidades conectados aos conceitos de interatividade, capacidade de modificação e evolução entre os atores" (de Landa in apud Tierney, 2007)

Evidentemente, o caráter do suporte dessa ferramenta, isto é, o computador, influencia consideravelmente porque sua natureza não é neutra como o plano do papel. Sua estrutura binária é codificada, o que define a tradução de entidades de desenho em linguagem simbólica interpretada pela máquina. Desse modo, Novak não se referia às ferramentas analógicas e nem aos sistemas tradicionais de projeto assistido por computador, mas à evolução desses sistemas digitais para uma espécie de 'terceira geração de ferramentas arquitetônicas' ou 'segunda geração de ferramentas CAAD'. O progresso das ferramentas digitais trouxe consigo novas técnicas distintas das possibilidades oferecidas pelas ferramentas anteriores, como será visto no próximo item. Todos esses fatores contribuíram para a grande ruptura, uma vez que:

"A definição tradicional da imagem arquitetônica excluía qualquer noção de relatividade entre tempo e espaço, ou seja, uma imagem estática era uma imagem imóvel, temporalmente fixa. Na atualidade, todas as formas que existem no espaço também se desdobram no tempo, e, inversamente, as formas que se desenvolvem no tempo vão revelar-se simultaneamente no espaço. Além disso, nos software com potencial de animação, o tempo é relativo, já que agora poderia ser manipulado, tanto na sua seqüência e na duração" (Tierney, 2007).

A exemplo dos primeiros arquitetos digitais nas décadas de 1960 e 1970, Novak (1988) elaborou uma lista de onze itens onde discriminava as novas metas em longo prazo para explorar todo o potencial das novas ferramentas digitais de projeto assistido por computador por meio de apropriações mais artísticas. Novak esboçou que o escopo das arquiteturas digitais deveria ser, entre outras coisas, assumir o papel de contestador da disciplina, convocando arquitetos a assumirem a postura mais experimentalista, englobando a cultura

arquitetônica acumulada ao longo dos séculos; buscar inspiração em campos externos à disciplina; gerar novas formas e assim contribuir para a gênese de nova iconografia arquitetônica; evitar a “fixidez funcional” para alcançar o máximo de interações possível.

2.4.1 A ruptura técnica

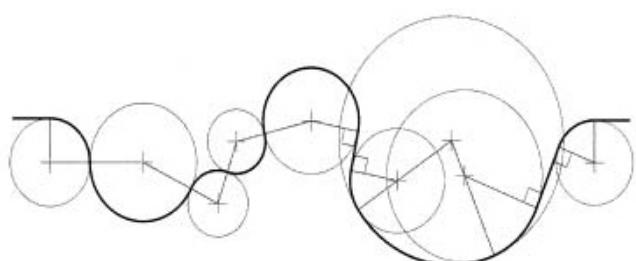
Das experiências dessa ‘segunda geração’ de arquitetos digitais é possível extrair três aspectos básicos de modificação no desenho assistido por computador que permitiram a exploração de novos usos potenciais das ferramentas digitais como oportunidade de transcender seu papel de ferramenta de representação: desenhar objetos não-euclidianos com a ajuda do novo repertório de linhas **nurbs**; descrever geometricamente as formas não-euclidianas através da **topologia** e a manipulação holística de objetos arquitetônicos por meio de **parametrizações**.

NURBS

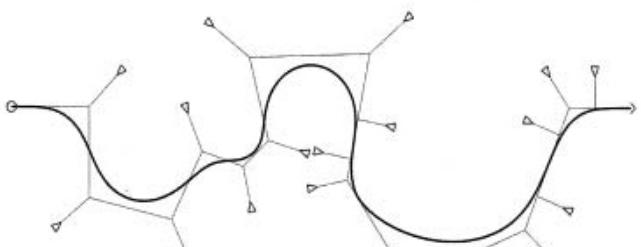
O procedimento para desenhar uma curva ondulada por instrumento é baseado na composição de arcos. Com essa metodologia, vários segmentos de arcos são criados e conectados. O mesmo procedimento pode ser realizado no computador com um programa de desenho, tipo AutoCAD. Quando um dos segmentos é alterado, os outros segmentos permanecem inalterados, mesmo utilizando-se ferramentas de desenho assistido por computador, como o AutoCAD.

Figura 2.19: Composição de arcos
(Lynn, 1998)

A aparência curvilínea como folhas de papel dobradas das arquiteturas digitais são construídas matematicamente com as curvas chamadas **nurbs**, o acrônimo que significa **Non-Uniform Rational B-splines**. No lugar de desenhar cada arco, o procedimento para desenhar uma nurbs consiste em clicar pontos indicando a localização de cada segmento. O resultado é uma curva



Composição de arcos com ferramentas convencionais



Composição de arcos com nurbs

ondulada contínua e suave. Em função do grau de curvatura estabelecido em cada segmento, as curvas resultantes são mais ou menos suaves. Cada ponto clicado é um ‘ponto de controle’. Associada a cada ponto de controle existe uma equação polinomial, comumente referenciada como função básica (o “B” em NURBS). O “R” de “racional” é definido matematicamente como a razão de duas equações polinomiais, isto é, duas funções básicas. Cada função básica afeta apenas a seção contígua ao ponto de controle a ela associado e essas seções são delimitadas por nós. Uma curva *nurb* é aquela cuja influência do ponto de controle, isto é, a função básica associada à curvatura pode variar com a mudança de posição dos nós ao longo do segmento que vincula dois pontos de controle. O espaçamento entre os nós é desigual.

A forma de uma curva *nurb* pode ser modificada através da manipulação de seus *points de controle* associados ao ‘peso’ aplicado sobre os nós, assim como o raio de curvatura definido. A curva *nurb* é modelada preliminarmente mudando-se a localização dos pontos de controle, que não está contido necessariamente na curva, à exceção dos pontos de início e fim. Cada ponto de controle possui peso associado, o qual determina a extensão e a sua influência da curva. Aumentando-se o peso do ponto de controle, a curva ou superfície correspondente é puxada pelo ponto de controle e vice-versa.

O que torna a curva *nurb* particularmente sedutora é a facilidade de construção e de manipulação. Quando um dos pontos de controle é alterado, toda a curva se adapta à alteração. São usadas para gerar e representar curvas e superfícies de modo flexível e preciso ao mesmo tempo, podendo ser empregada para descrever tanto formas livres quanto analíticas. Foram desenvolvidas a partir da década de 1960 por engenheiros para desenhar carros, cascos de navios e aeronaves (Rogers, 2001). O intuito era alcançar a correspondência mais próxima possível entre maquetes físicas e representações digitais (Cabrinha, 2005). Antes das nurbs em meio digital, esse tipo de curva era representado em modelos físicos (Rogers, 2001).

Muitos software de modelagem permitem o trabalho com nurbs, tanto para a construção de sólidos quanto de superfícies. As curvaturas podem ser facilmente manipuladas dentro do programa e ajustadas conforme o desejo do arquiteto. Este fato tornou as nurbs praticamente onipresentes nos sistemas digitais de desenho (CAD), manufatura (CAM) e engenharia (CAE). No final dos anos 1980, a Silicon Graphics disponibilizou no mercado a plataforma para manipular as nurbs de modo interativo. Mais recentemente, as plataformas de modelagem com base no repertório nurbs mais conhecidas são o Autodesk

3DStudioMax, Form Z, Blender 3D, Maya, Rhinoceros 3D, Autodesk Alias, Cinema 4D, entre outros.

Figura 2.20 Curvas nurbs.

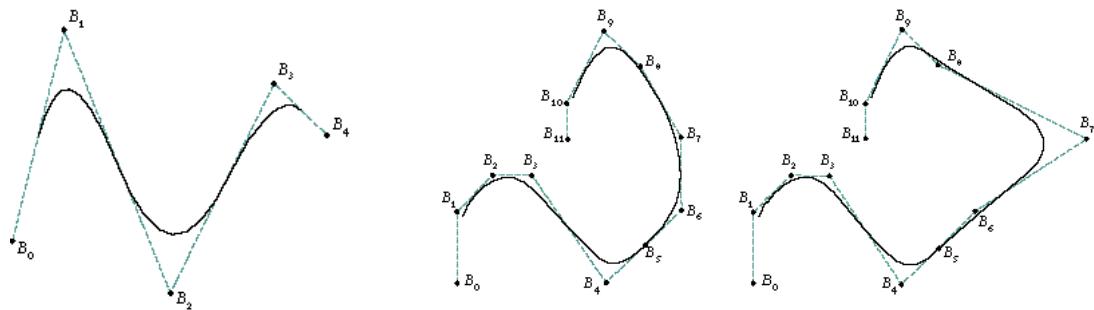
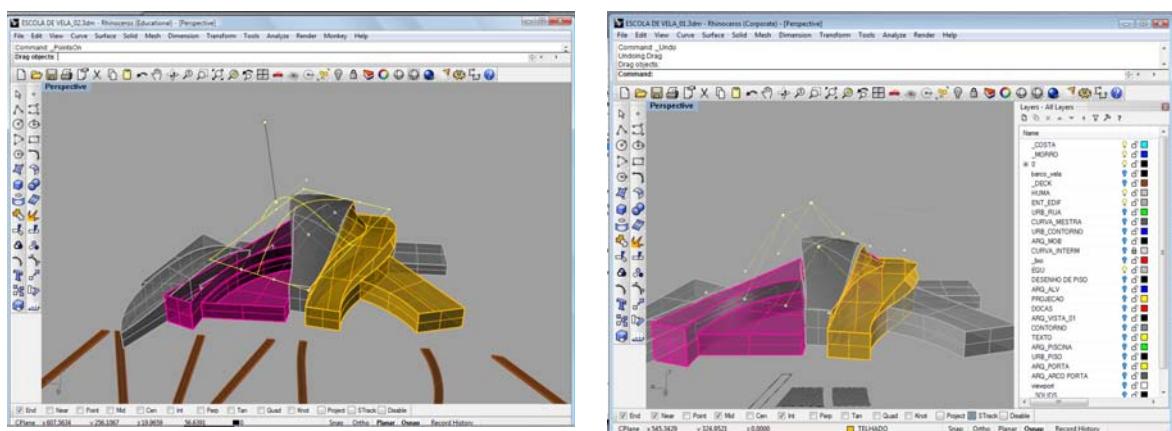


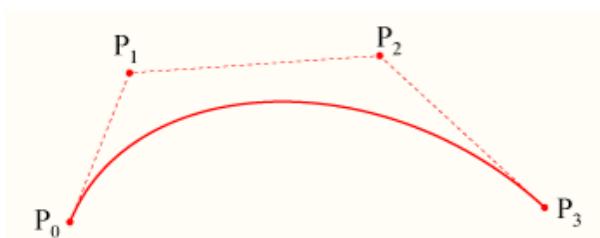
Figura 2.21. Manipulação de pontos de controle de nurbs no software Rhinoceros.

Modelo: Verônica Natividade.



As nurbs foram amplamente adotadas principalmente porque permitem a construção de grande variedade de formas geométricas, desde linhas retas e sólidos platônicos até formas livres, mais complexas e esculturais. As nurbs podem funcionar como equivalentes digitais de croquis feitos à mão, uma vez que permitem certa fluidez e leveza de traço (Kolarevic, 2003: 15). Também fornecem a representação eficiente de informações geométricas das formas de maneira relativamente simples, facilmente manipuláveis, exigindo pouca memória das máquinas.

Figura 2.22 Curva b茅zier.



A curva **b茅zier** 茅 uma das subcategorias das curvas *nurbs*. Possui esse nome em fun莽茫o de seu desenvolvedor, o engenheiro de autom茫veis franc芒s Pierre B茅zier na d茅cada de 1960. 茅 uma b-spline cujo espa莽amento entre os n茫os 茅 igual, apesar dos n茫os n茫o aparecerem. A partir dos pontos de controle, as curvas podem ser facilmente modificadas.

A spline⁵⁰ 茅 uma curva definida matematicamente por dois ou mais pontos de controle. Os pontos de controle que ficam na curva s茫o chamados de n茫os. Os demais pontos definem a tangente 脿 curva em seus respectivos n茫os. Por exemplo, a curva de B茅zier definida pelos pontos (A, B, C e D) 茅 delimitada pelos n茫os A e D e nesses n茫os, a curva 茅 tangente aos vetores AB e DC respectivamente. Variando as posi莽玫es dos pontos B e C, a curva apenas varia sua inclina莽茫o, mas continua passando pelos pontos A e D. A simplicidade da representação e a facilidade de gerar formas livres e complexas tornaram essas representações extremamente populares na engenharia, informática e principalmente na computação gráfica.

Apesar de a edição das curvas nurbs ser altamente intuitiva, existem alguns critérios técnicos que tornam as curvas nurbs em superfícies entidades passíveis de serem detalhadas e construídas dentro das tecnologias de construção e fabricação disponíveis (Szalapaj, 2005: 87), que serão vistos no capítulo seguinte.

⁵⁰ A t茅tulo de curiosidade, o termo 'spline' vem de um dispositivo usado pelos construtores de navios para desenhar formas de cascos mais suaves (Kolarevic, 2003).

TOPOLOGIA

A topologia é o ramo da matemática que estuda os **espaços topológicos**, sendo considerada uma extensão da geometria. É uma área muito específica e extensa da matemática, com muitas ramificações. Grosso modo, a topologia “é uma geometria cujos objetos podem ser imaginados como que construídos com materiais perfeitamente elásticos – podendo, como resultado determinar a congruência, isto é, similaridade entre formas geométricas tão distintas quanto o círculo e o triângulo, ou até mesmo dois polígonos quaisquer” (Sperling, 2003: 40).

Figura 2.23: Variações topológicas do cubo (Kolarevic, 2003).



Uma das funções topológicas particularmente importantes é o *homeomorfismo*. A raiz *homeo* vem do grego e significa semelhante, da mesma natureza⁵¹. *Morfismo*⁵² é o termo da Matemática que significa “aplicação de um conjunto sobre o outro, que preserva as operações definidas em ambos”. As funções homeomorfas preservam a ‘estrutura topológica’ do espaço. Quando há homeomorfismo entre dois espaços, eles são topologicamente idênticos.

A topologia trata, dentre outras coisas, das propriedades dos objetos geométricos – superfícies, sólidos – que permanecem imutáveis quando o objeto é deformado desde que não seja partido. A topologia é, portanto, o estudo qualitativo das propriedades geométricas de dada estrutura que não são afetadas por mudanças de escala ou da forma, isto é, as propriedades que são mantidas continuamente mesmo quando expostas a deformações. Sendo assim, o foco nas análises topológicas está nas relações e interconexões e não na sua forma aparente. Topologia é, em outras palavras, menos sobre *distinções* espaciais e mais sobre *relações* espaciais. Um círculo, uma elipse, um quadrado e um retângulo são topologicamente equivalentes porque possuem propriedades que se mantêm contínuas quando submetidas a processos de deformação. Porque as estruturas topológicas

⁵¹ Fonte: Dicionário Aurélio, 2ª edição, 1986.

⁵² IBID.

geralmente são representadas com formas curvilíneas por matemáticos com, tem-se a impressão de que topologia é sinônimo de superfícies curvas, um erro fundamental que é aceito. No discurso arquitetônico ‘não informado’, ‘topológico’ também significa curvo e vice-versa (Kolarevic, 2003).

Figura 2.24: Formas topológicas: toro, fita Möbius e Garrafa Klein (Kolarevic, 2003).

“A topologia, grosso modo, é uma geometria que não se ocupa de medidas e proporções; seus ‘objetos’ podem ser imaginados como que construídos com materiais perfeitamente elásticos – podendo, como resultado determinar a similaridade entre formas geométricas consideradas distintas pela geometria euclidiana. Para o momento, pode-se considerá-la uma geometria operativa, isto é, ocupada com determinadas operações com entidades geométricas e propriedades invariantes independentes de sua forma. Relações espaciais específicas são manipuladas por meio de operações realizadas e registradas em representações também específicas, operações em que o processo, produto e representação são interdependentes” (Sperling, 2003: 15).

Fita Mobiüs: Tomando-se uma fita de papel, segurando-a pelos lados menores, girando um os lados menores em 180° e colocando um lado menor do outro, cria-se uma superfície de apenas uma face, sem frente nem verso, que se pode percorrer inteiramente de modo contínuo sem distinção entre o lado de cima e de baixo (Sokal, 1999).

Lynn (1993) observou que a geometria como idioma preferido para a comunicação da arquitetura, tem sido desafiada pela topologia, fomentando o debate sobre as propriedades essenciais da forma arquitetônica diante das novas possibilidades digitais. A geometria exata é manipulada historicamente pelos arquitetos como base compositiva das proporções dos edifícios. Suas regras fixas e universalmente traduzíveis serviram de base da arquitetura do projeto moderno em diversas épocas.

“A geometria é a base (...). Ela nos traz as elevadas satisfações da matemática (...) As artes e o pensamento moderno, depois de um século de análise, buscam mais além do fato acidental e a geometria nos conduz a uma ordem matemática, atitude cada vez mais generalizada.” (Le Corbusier, 1929)

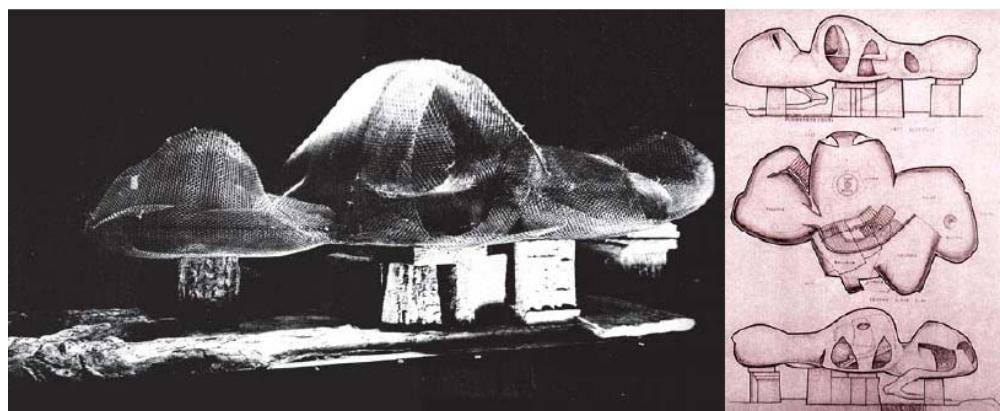
Nesse contexto, a topologia como “geometria indefinida” ou “inexata” (Kolarevic, 2003), oferece a contraponto entre formas puras e amorfas; ideais e indefinidas; estáticas e fluidas; rígidas e dinâmicas. “Em arquitetura, forma e organização espacial são termos frequentemente indissociáveis; em Topologia, investiga-se a organização espacial que



se mantém atrás das formas, dentre elas a continuidade espacial entre regiões ou porções da superfície” (Sperling, 2003). Assim, a descrição geométrica topológicas gerou as “arquiteturas de superfície” (Sperling, 2003), construídas por continuidades espaciais, que por outro lado, não devem ser confundidas como variação semântica de ‘forma complexa’.

“A geometria euclidiana sempre foi o bastante como suporte para as arquiteturas em terceira dimensão e a elas forneceu instrumental para o projeto e construção. Para a concepção de objetos de $n+3$ dimensões, situados em ambientes não usuais, arquitetos têm procurado se apropriar da Topologia, campo privilegiado para o estudo de formulações de objetos em espaços de quatro ou mais dimensões e de representações desses objetos em dimensões menores. Paralelamente ao aporte topológico, contribuindo para a mudança do paradigma arquitetônico quanto à construção do espaço, os meios telemáticos – associação de tecnologias de informática e telecomunicações – têm se constituído, nas experimentações em curso, suporte ou meio das chamadas ‘arquiteturas virtuais’”. (Sperling, 2003).

Figura 2.25: Endeless House (1950), Frederick Kiesler (Sperling, 2003).



A superfície topológica é contínua, o espaço interior é uma dobra ‘interminável’ junto com paredes, telhados, pavimentos, móveis.

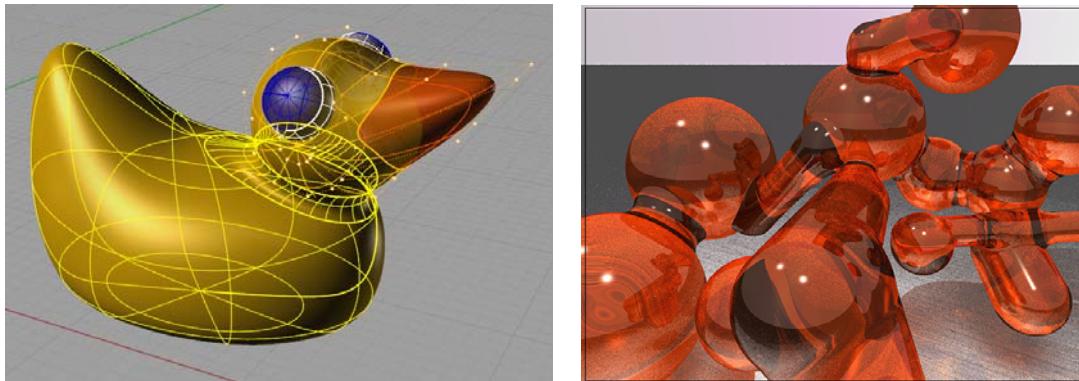
Uma das primitivas topológicas que se tornaram bastante difundidas em meio digital foi a chamada ‘meta-esfera’, também chamada “poli-superfície isomórfica” (Kolarevic, 2000). São muito utilizadas para modelar personagens na indústria da animação, onde são chamadas de “*meta-ball* (meta-esfera), *mata-clay* ou simplesmente *blob*⁵³” (Jencks, 2002). As meta-esferas são esferas paramétricas que possuem massa respectiva ao seu tamanho e capacidade de atração. As meta-esferas exercem campos ou regiões de influência que

⁵³ BLOB - Binary Large Object.

podem ser aditivos ou subtrativos. Quando são aproximadas, as meta-esferas se deformam mutuamente. O designer controla a posição dessas meta-esferas para gerar a superfície que ele deseja. Quando os objetos são repositionados, as suas superfícies são novamente deformadas. Assim, “os objetos interagem no lugar de simplesmente ocuparem lugar no espaço; eles são conectados pela lógica [de atração de suas massas] onde sempre há a possibilidade de variação quando novas blobs (campos de influência) são adicionadas ou novas relações entre elas são estabelecidas⁵⁴, criando novas possibilidades. Desse modo, os objetos operam sob geografia dinâmica e não estática” (Kolarevic, 2000).

A exploração dos espaços topológicos com meta-esferas levou ao desenvolvimento de certa imagem na arquitetura, chamada de muitos nomes como “gramática blob” (Jencks, 2002), “blobtecture” (Jencks, 2002), “forma blobby” (Kolarevic, 2003). A variação topológica em ambiente digital permitiu a combinação e mistura entre elementos heterogêneos com continuidade suave utilizando-se operações exclusivamente digitais como morphing (hibridação dinâmica entre dois ou mais objetos), blurring, folding (dobras).

Figura 2.26: Blobs



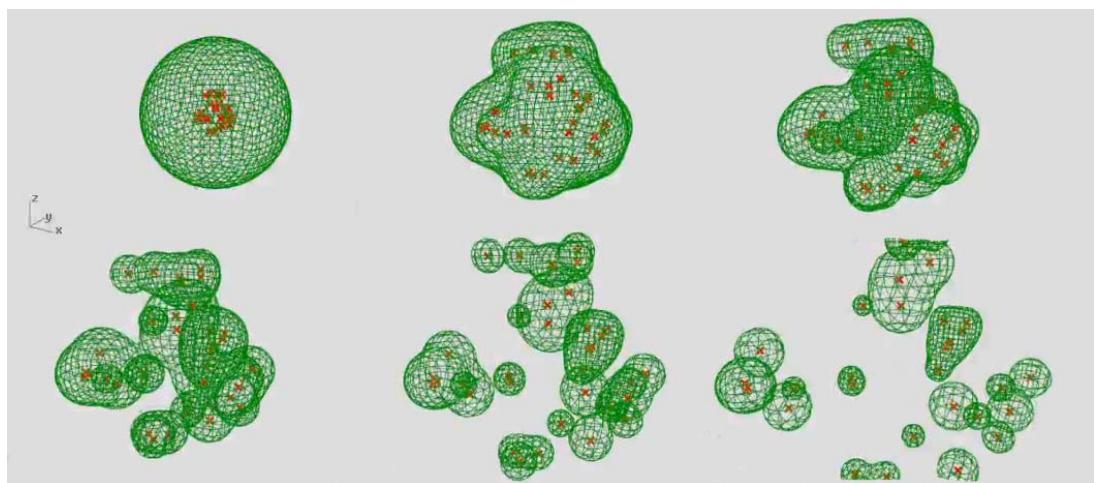
Pato modelado com blobs. Modelo: Verônica Natividade.

Lynn (1993) elenca a série de argumentos em defesa das blobs e que as tornaram tão populares entre os arquitetos digitais, a partir de meados da década de 1990, configurando o chamado de “bobbly zeitgesit” (Szalapaj, 2005: 88). Segundo o arquiteto, as blobs são mais flexíveis do que os sólidos platônicos, como esferas, cones e cubos. As meta-esferas

⁵⁴ Quando as equações paramétricas são modificadas.

também diferem das composições clássicas e das colagens pós-modernas não só na óbvia aparência, mas pelo fato de constituírem o todo contínuo, fluido, não ideal e mutável.

Figura 2.27: Formação de meta-esferas (2009)



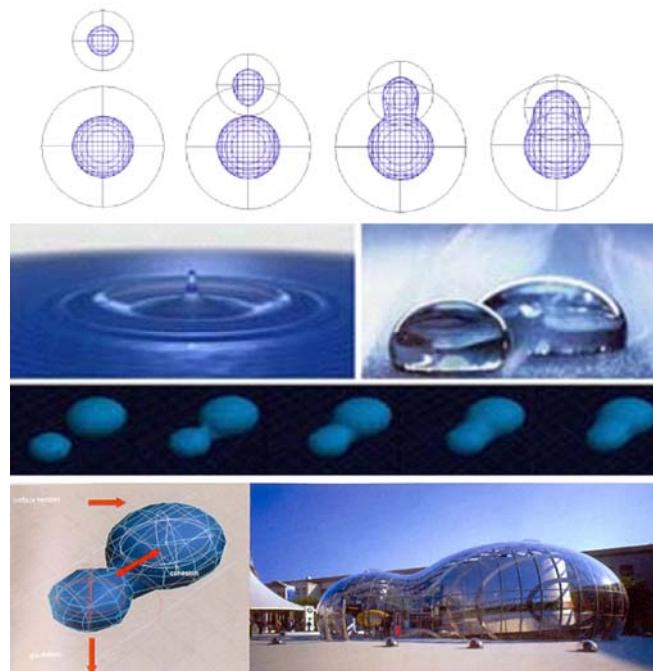
Talvez a primeira arquitetura construída utilizando-se meta-esferas no processo conceitivo tenha sido o pavilhão *The Bubble*, desenvolvido pelo escritório do arquiteto Bernhard Franken, que serviu por duas vezes como pavilhão da BMW em exposições na Alemanha⁵⁵. A forma foi gerada no programa *Alias WaveFront*, que simulou as forças físicas de atração entre as duas ‘bolhas’ dotadas de massa e que foram unidas sobre a influência da gravidade. “A superfície, ou a ‘pele’, procura expressar o frágil balanço entre a pressão interna e tensão superficial, característica das bolhas de ar” (Esteves; Henriques, 2005).

A ajuda dos software de modelagem avançada, como por exemplo a plataforma *Silicon Graphics*, o *Catia*, o *Alias* e mais recentemente o *Rhinoceros* e *Maya*, entre outros, possibilitaram a representação das primitivas topológicas e formas não-euclidianas com princípios geométricos mais eficientes que a geometria descritiva com relativa facilidade. Essas novas ferramentas digitais são suportes versáteis para efetuar operações em nível formal e não somente em nível semiótico ou cultural, como suas antecessoras.

⁵⁵ IAA – Internationale Automobil Ausstellung 1999, em Frankfurt; Expo2000, em Munique.

As *nurbs* tornam as formas topológicas computacionalmente possíveis, desde que matematicamente coerentes. Com o uso da geometria topológica, a descrição matemática das curvas complexas é mantida, o que garante o controle sobre as superfícies geradas. A mesma estrutura topológica pode se manifestar em número infinito de formas, a partir da mesma descrição geométrica. Isso é possível porque no espaço topológico, a geometria não é representada por equações implícitas, mas por **funções paramétricas** que descrevem uma gama de possibilidades (Kolarevic, 2003).

Figura 2.28: ‘The Bubble’ (Kolarevic, 2003)



PARAMETRIZAÇÃO

Parametrização é o termo oriundo da Matemática, introduzido na arquitetura através da engenharia, que designa a descrição de elementos cuja variação de valor modifica a solução de um problema sem lhe modificar a natureza. Rebatendo esse conceito para formas geométricas, a descrição paramétrica de determinada superfície permite que seu contorno seja modificado de maneira indireta, ou seja, alterando-se os valores das equações matemáticas que as descrevem. Isso se deve ao fato de que, nos software que permitem a modelagem paramétrica, a superfície nurbs poder ser descrita por meio de **equações paramétricas**.

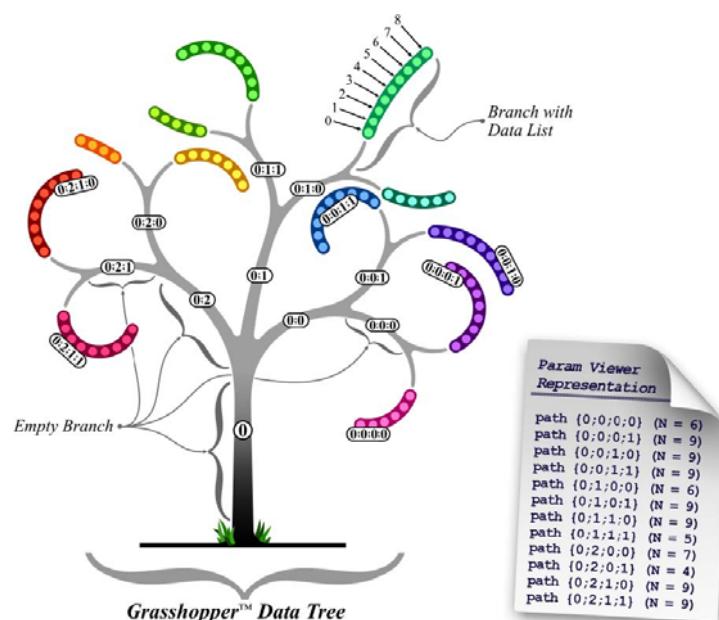
Dentro do software de modelagem, uma linha ou um círculo são definidos por códigos binários (1 e 0), a linguagem do computador. Uma curva, por exemplo, pode ser definida por séries de equações para expressar certas propriedades dessa curva. Por exemplo, a série de equações paramétricas para um círculo no plano cartesiano de duas dimensões pode ser dado como: $x = r * \cos t$; e $y = r * \sin t$, onde o parâmetro t é o ângulo inscrito cujo valor pode variar de 0 a 2π . Representações paramétricas são geralmente diversas, isto é, as mesmas quantidades podem ser expressas por diferentes estratégias de parametrização. Por exemplo, a equação $r^2 = x^2 + y^2$ é outra forma de descrever geometricamente o círculo.

Os valores desses parâmetros podem ser modificados e assim alterando a forma da curva, mas sem que a sua descrição fundamental expressa pela equação seja alterada. (Kolarevic, 2003).

As equações paramétricas que descrevem cada objeto podem ser dependentes ou independentes entre si, originando relações de dependência entre partes do modelo. O modelo paramétrico é aquele no qual são estabelecidas relações de dependência entre partes do modelo. Quando um componente é alterado, todos aqueles dentro de sua teia de relações são alterados automaticamente. Portanto, a chave da parametrização é **relação**. Quando as regras paramétricas são usadas para descrever relações entre objetos, diz-se que há “**geometria associativa**, isto é, a geometria constituinte é mutuamente conectada” (Kolarevic, 2003).

Em teoria, todos os componentes de um edifício representados no modelo podem ser relacionados por dependência. Na prática, se isso for feito, o modelo acaba se tornando extremamente complexo, além de deixar o arquivo muito pesado ou inoperante. Por isso, durante a modelagem, uma das tarefas primordiais é escolher estratégicamente quais dependências entre quais objetos serão estabelecidas. (Halaby, 2004). De acordo com o software utilizado, essas relações de dependência são estabelecidas por ‘famílias’ ou ‘árvores’ de objetos que são mutuamente dependentes (Halaby, 2004). As modificações de dimensões em elementos específicos do modelo sejam propagadas para todos os componentes a ele relacionados dentro da estrutura de dependência construída no modelo.

Figura 2.29: Organização das informações parametrizadas



A descrição paramétrica de formas é um meio particularmente versátil de representação de curvas e superfícies complexas. Segundo Mark Burry (apud Kolarevic, 2003), o maior valor da parametrização é “a capacidade de definir, determinar e reconfigurar as relações geométricas”. Em arquiteturas muito complexa, a parametrização é fundamental para o controle holístico. Nesse sentido, situações de conflito entre estrutura e instalação de água, por exemplo, podem ser detectadas e resolvidas globalmente.

Figura 2.30: Escada parametrizada.

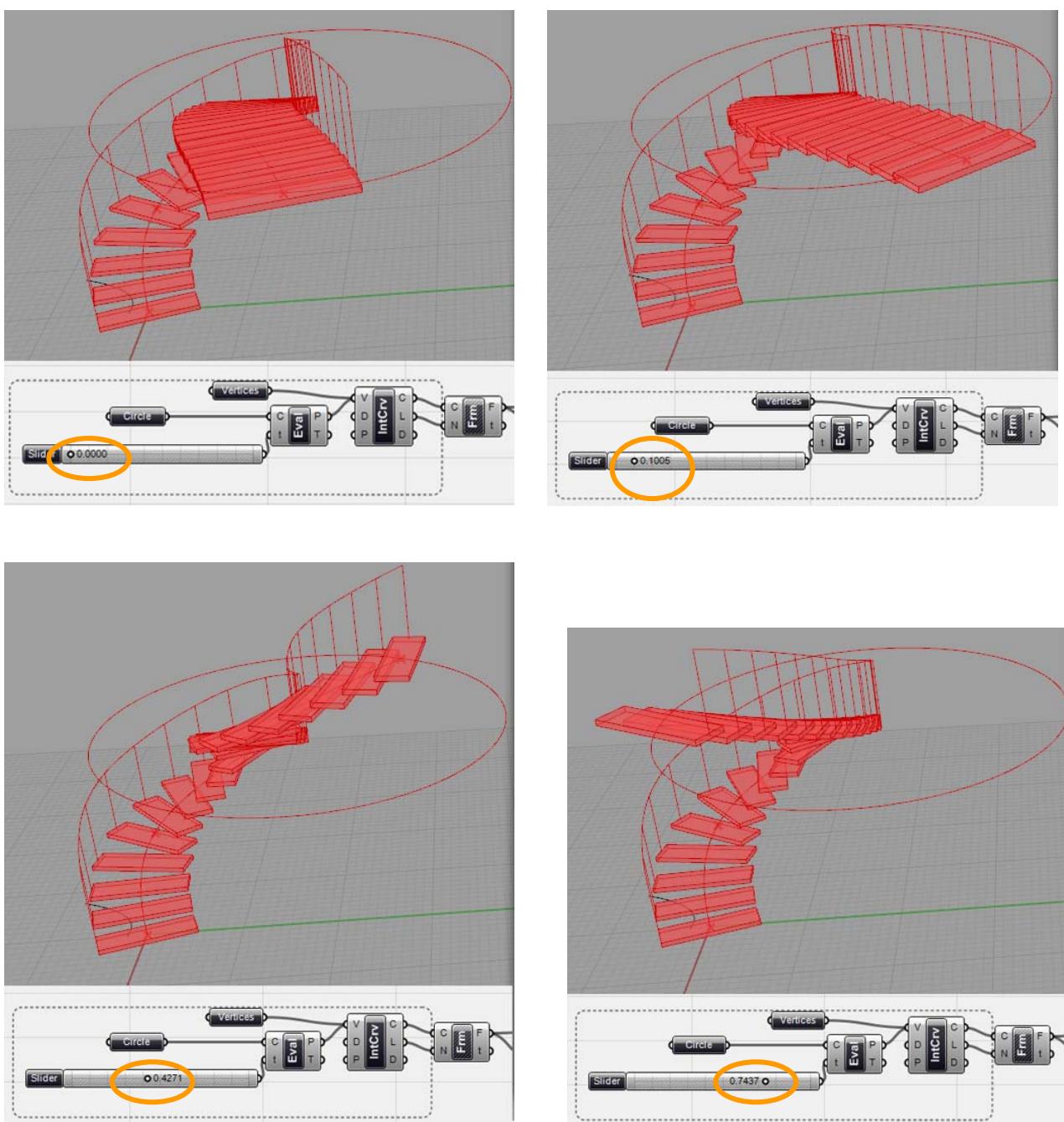
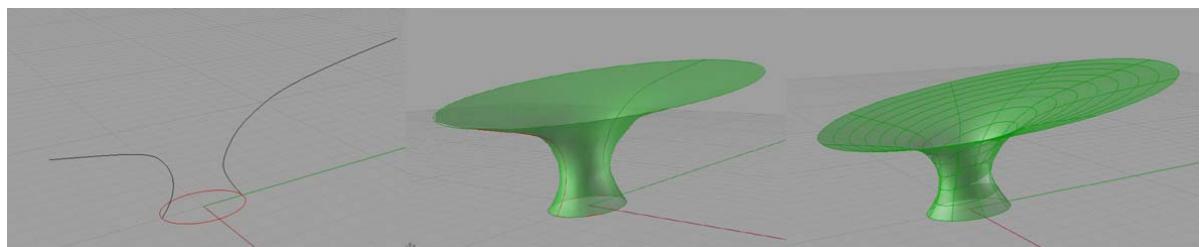
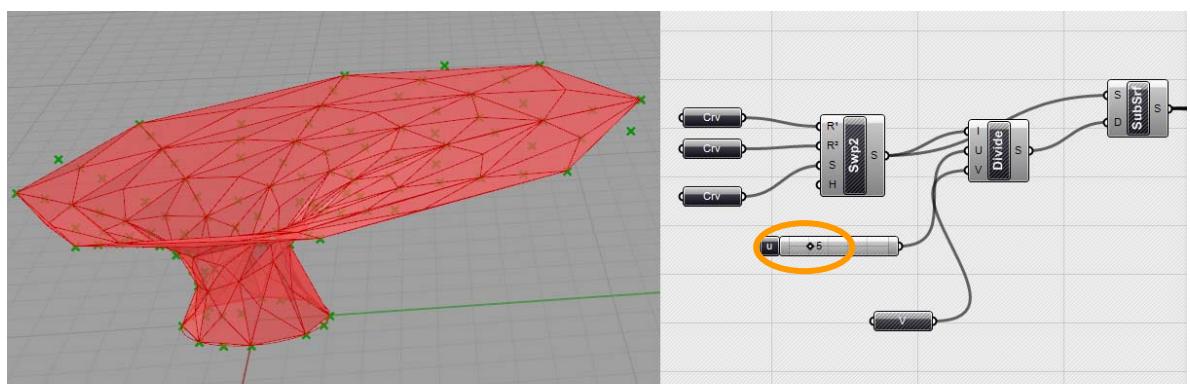
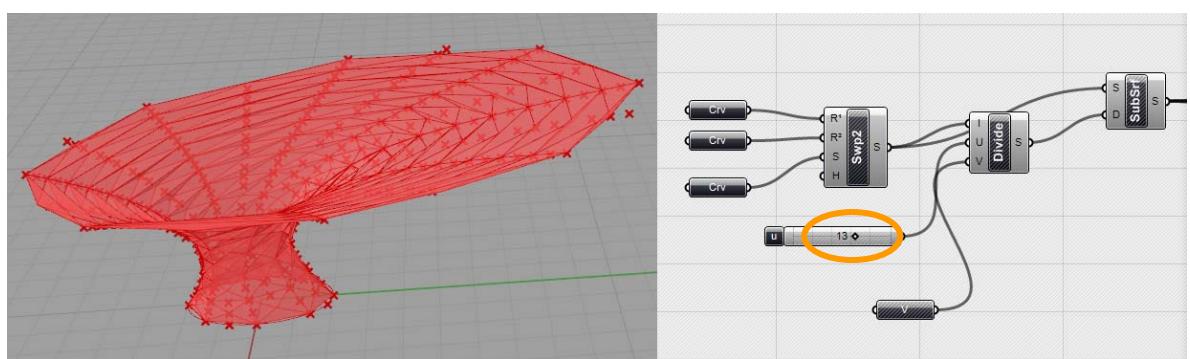


Figura 2.31: Cobertura parametrizada.



Modelo desenvolvido por Juliana Caloi, Pedro Veloso e Verônica Natividade, no Workshop “Design Paramétrico”, associado ao Congresso da Sigradi 2009. Instrutores: Gonçalo castro Henriques e Ernesto Bueno. Renderização: Rodrigo Cury Paraizo.

As três curvas que formam a geometria inicial foram inseridas no Grasshopper (plug-in de parametrização do software Rhinoceros). A forma foi gerada pelo comando ‘sweep 2 rail’ dentro do Grasshopper. A superfície foi dividida em seções quadrangulares.



Neste elemento, a superfície gerada foi subdividida em seções quadrangulares. Cada seção foi subdividida novamente em quatro triângulos. Alterando-se o número de subdivisões, os triângulos são automaticamente atualizados.

Figura 2.32: Variação paramétrica da triangulação da superfície

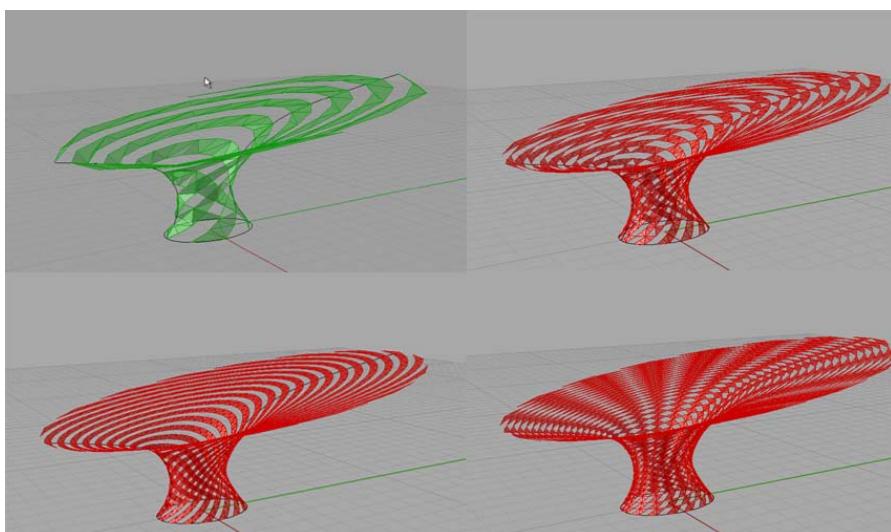


Figura 2.33: Variação paramétrica da geometria inicial

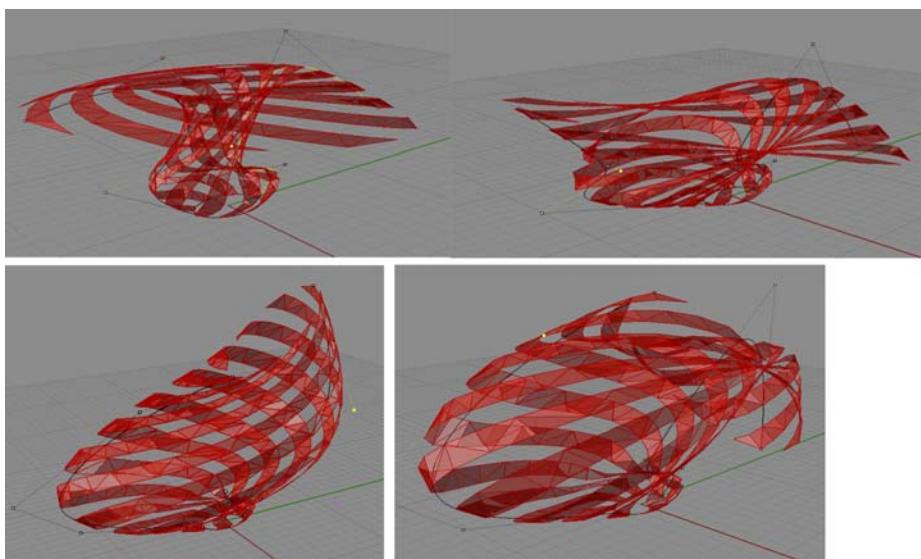


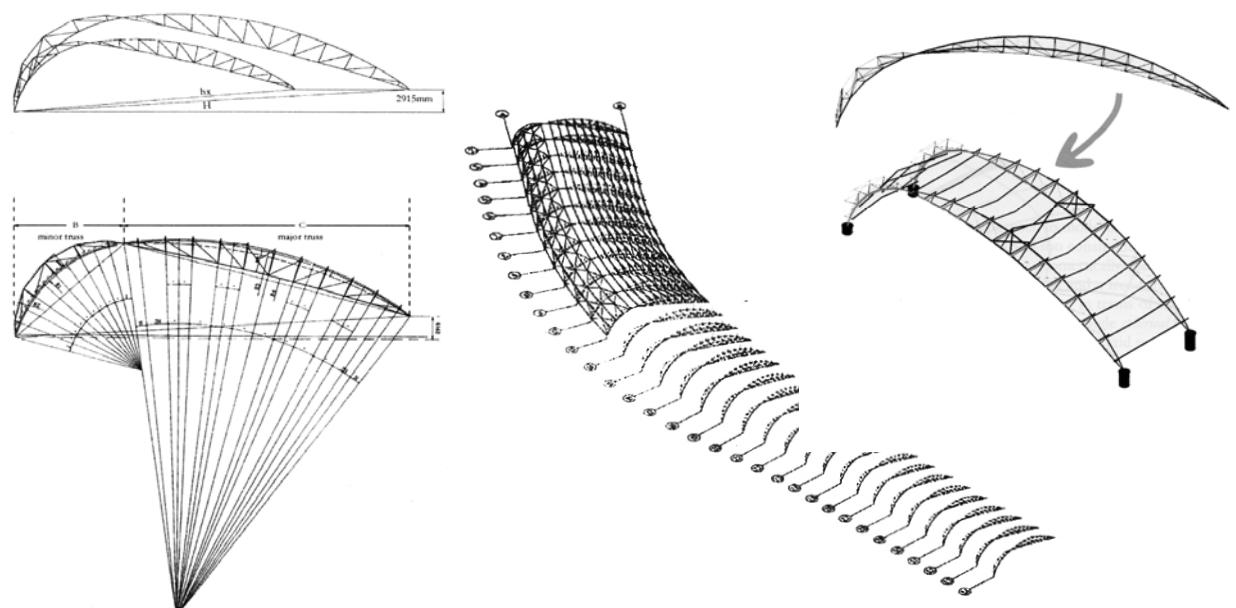
Figura 2.34: Variação paramétrica da geometria inicial



As primeiras experimentações da parametrização na arquitetura foram direcionadas às experimentações artísticas, como será visto adiante. Essa atitude pode ser justificada como posicionamento de vanguarda frente à nova tecnologia emergente. Os projetos de Greg Lynn e Marcos Novak não eram propostos como ambientes habitáveis, mas como reivindicadores de reconhecimento do projeto digital como caminho válido para arquitetura. Nesse contexto, um dos primeiros edifícios habitáveis a se beneficiar da representação paramétrica da forma foi o *Terminal Internacional de Waterloo*, em Londres, projetado pelo arquiteto Nicholas Grimshaw. É um exemplo simples e elucidativo da associação entre descrição topológica e técnica de parametrização.

O edifício é composto basicamente pela estrutura de 400 metros de comprimento, cuja largura varia de 35 para 50 metros entre as extremidades. A série da cobertura possui 36 perfis de tamanhos diferentes, mas com configuração idêntica da estrutura possuiria basicamente a mesma configuração: corda de arco com três pinos. No lugar de modelar ou desenhar à mão, o modelo paramétrico foi preparado para que o tamanho e curvatura do arco de cada perfil estivessem relacionados ao conjunto. Dessa forma, atribuindo valores diferentes de ao parâmetro da curvatura, por exemplo, todas as curvaturas de todos os 36 perfis eram modificadas ao mesmo tempo. Isso é conseguido porque os parâmetros que definem cada perfil são os mesmos, embora com dimensões diferentes. Todos os perfis possuem dois segmentos de arco, três pinos, duas treliças. Portanto, são topologicamente idênticos. Como há homeomorfismo entre elementos, a mudança em um parâmetro do perfil era reverberada para todos os demais. (Senagala, 2005).

Figura 2.35: Estação Waterloo, Londres, 1993. Arquiteto Nicholas Grimshaw (Kolarevic, 2003).

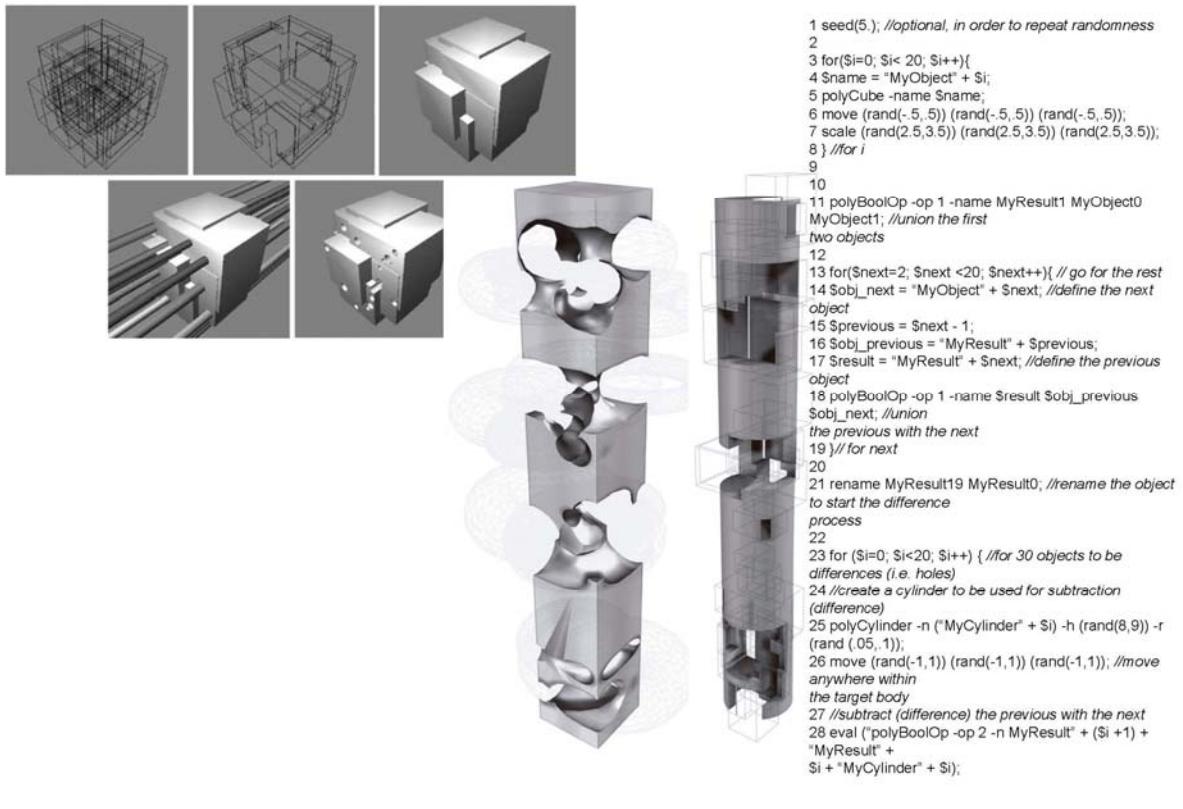


ALGORITMOS

Algoritmos são procedimentos para endereçar problemas através da série finita, consistente e racional de passos, e que são decodificadas através de scripts, formando regras lógicas executadas por sistemas computacionais. Em teoria, enquanto um problema puder ser definido em termos lógicos, a solução pode ser determinada na identificação e decodificação corretas das questões que envolvem determinado problema. Algoritmos podem ser aplicados tanto como estratégias para resolver problemas conhecidos quanto na busca por possíveis soluções para problemas parcialmente conhecidos através de composições randômicas. Algoritmos usam composição probabilística para que a melhor solução seja encontrada, constituindo-se, portanto, como poderosa ferramenta para testar incontáveis possibilidades. Cada vez que o algoritmo é processado, em função do número de regras, por análise combinatória, para que se tenha a mesma configuração, seria necessário que o algoritmo processasse milhões de vezes para se encontrar novamente a mesma configuração.

A equação que descreve um algoritmo é linguagem mediadora da mente humana que o computador consegue interpretar. Dessa forma, os algoritmos são considerados linguagem. Com efeito, o termo “linguagem de programação” é usado para definir o conjunto de regras que define um dado programa de computador. Em outras palavras, é a linguagem matemática binária usada para especificar precisamente sobre quais dados um computador vai atuar, como estes dados serão armazenados ou transmitidos e quais ações devem ser tomadas sob várias circunstâncias (Terdizis, 2006). São comparáveis às receitas culinárias, constituídas pela proporção entre ingredientes que devem ser misturados seguindo uma ordem de procedimentos. Na arquitetura, podem ser empregados para “produzir eficientemente repetições diferenciadas na modelagem digital que de outra maneira requereria grande esforço e tempo. Em essência, é um método para reduzir o número de keystrokes requeridas para modelar, alterar e depois repetir uma forma em particular” (Payne in Meredith, 2008).

Figura 2.36: Algoritmo para perfurar o cubo, Kostas Terzidis (2006)



Algoritmo escrito em MELScript

2.4.2 A ruptura conceitual

Ao final dos anos 1980, as inquietações dos arquitetos comprometidos com o digital se voltaram para a seguinte questão: “como combinar investigações teóricas com usos potenciais das novas ferramentas existentes?” (Rocha, 2004).

As novas investigações de novos modelos de representação arquitetônica foram voltadas para o novo domínio espacial, configurado no virtual, cujas condições eram diferentes das estabelecidas no plano físico. O espaço digital não é mais o plano cartesiano neutro e isento como as mídias tradicionais da arquitetura. Ele poderia ser alimentado com informações pertinentes ao projeto e influenciar sua forma através da manipulação dessas informações no ato conceptivo.

Os arquitetos agora informavam as necessidades programáticas ao computador que se comporta com o “terreno informacional” (Kolarevic, 2003). Nesse sentido, as ferramentas digitais permitem a ampliação dos processos sensoriais, possibilitando ao arquiteto

“redesenhar a realidade” (Garofalo, 2002). A dimensão tátil é atingida pela interatividade entre usuário e ferramenta.

Forma não é mais estática, imposta de fora da estrutura com propriedades homogêneas ou um comportamento que pode ser assimilado pelas características de modelagem de sólidos, mas é bastante influenciado pelas propriedades das ferramentas utilizadas, sob a forma singular do material digital. Portanto, ele traz à tona os processos geradores e suas possibilidades conectados aos conceitos de interatividade, capacidade de modificação e evolução entre os atores (de Landa in apud Tierney, 2007)

Com o auxílio da ferramenta digital, o arquiteto pode manejar novas complexidades no projeto, que podem partir tanto de questões formais quanto aspectos mais pragmáticos. O processo conceptivo por meio de modelos digitais tridimensionais permite a manipulação da forma de maneira holística. Enquanto os paradigmas anteriores da arquitetura nunca estiveram fora do espaço físico terrestre, a arquitetura vivificada na dimensão digital não necessitava mais “estar conectada unicamente com o físico e com o habitável. O mundo digital remete ao ambiente etéreo, livre de todas as limitações físicas, desde a gravidade, da bidimensionalidade do papel e da noção de dimensão” (Dollens, 2003). O ‘plano’ não gera mais o projeto; as seções servem apenas como instrumento analítico e não descriptivo do objeto. O traço distintivo do espaço digital está na perda da orientação ortogonal. Em decorrência, “a tela do computador não é mais uma porta-janela (*através de*), mas uma superfície de informação *sobre a qual* deslizam dados. Perda que libera do falso problema da perspectiva” (Lacombe, 2006).

Livres das limitações impostas pelas ferramentas tradicionais, as arquiteturas digitais sugerem novos meios de pensar a arquitetura, que ignorem as convenções de estilo ou estética em favor da experimentação contínua. Os novos territórios de exploração formal são baseados na geração digital e nas transformações morfológicas que respondem a contextos complexos ou influências funcionais, tanto estáticas quanto dinâmicas. As operações digitais e metodologias análogas efetuadas sobre os modelos digitais tridimensionais adquirem caráter mais dinâmico e contínuo, uma vez que permitem essas interações. Segundo Lacombe, “uma transformação imensa para a arquitetura, que exige dos arquitetos, pela primeira vez, projetar não simplesmente o objeto, mas seus princípios geradores e perceptivos” (Lacombe, 2006).

“No espaço virtual, a arquitetura que sempre foi refém do par possível/ real e, portanto esteve sempre atrelada à realização, liberta-se desse estado que delimita seu processo criativo à instância do realizável (...) Essa possibilidade significa uma mudança de toda a estrutura do pensamento arquitetônico. Ela rompe com a separação entre o processo de representação. Até então, o primeiro, fundamentalmente subjetivo, estabelecido pelo processo criativo e abstrato, ao ter de se revelar como algo realizável no mundo concreto, desprendia-se de sua natureza qualitativa e dinâmica e passava a um estado de natureza quantitativa, mensurável e estática. No domínio virtual, os processos de concepção e representação do espaço unificam-se de tal forma que o espaço já não é uma construção predeterminada, mas um campo dinâmico de relações potenciais” (Piazzalunga, 2005).

Com a mudança das ferramentas de representação da arquitetura, com a transformação do suporte em espaço dinâmico e interativo das simulações, a própria noção de arquitetura se renova. Acompanhando o rastro da história, as arquiteturas digitais adquirem os contornos das ferramentas que as produzem. Conceitualmente, a indefinição física do ciberespaço definido pelas ferramentas digitais foi traduzida pelos arquitetos digitais como um espaço contínuo, livre das limitações do plano bidimensional e das leis da Física. As arquiteturas produzidas são caracterizadas pela busca pelo novo expressionismo formal, pautada pelo alto grau de abstração e inovação tecnológica. O objetivo primordial não é conceber espaços funcionais e sim explorar as possibilidades oferecidas pelas propriedades das ferramentas digitais. E a partir daí, questionar os modelos arquitetônicos tradicionais. Como disse Terzidis Kostas (2003), “os instrumentos digitais não são ferramentas para explorar o *conhecido*, mas portais para adentrar no que é *desconhecido*”.

O computador se converte em ferramenta de indeterminação. Os espaços abstratos já não são telas neutras para refletir o que já foi visto na imaginação. Devem desenhar-se energicamente para integrar uma medida de indeterminação. Como consequência, o espaço de abstração se torna ativo em si mesmo, já não somente prefigura. O espaço abstrato de desenho está povoado agora por *forças virtuais* de deformação às quais o arquiteto deve ceder para criar a novidade. O processo de projeto adquire certa autonomia, uma vida própria’ (Massumi in Perrella, 1998). “Essas forças virtuais são programadas pelos arquitetos e se convertem em parte da visualização conceitual de seu projetista, embora este não tenha imaginado um resultado final. Os espaços virtuais e abstratos do desenho se integram com os espaços conceituais, interpretados pelo projetista; entram no ciclo da parceria criativa onde a indeterminação do computador está no mesmo nível de igualdade que a visão, o capricho e o espírito do arquiteto” (Dollens, 2002).

As novas formas arquitetônicas geradas com essas ferramentas tornaram necessária a formação de novas bases teóricas que fornecessem subsídios para a avaliação crítica dos

mecanismos computacionais. Os arquitetos digitais buscaram a formulação de novos conceitos por meio de caminhos não percorridos, situados além dos limites dos eventos previsíveis. Como consequência,

“a problemática tradicional do espaço, forma, e ordem foi informada, reformada e transformada pelas novas possibilidades e novas estratégias foram abertas pelos novos cruzamentos tecnológicos, particularmente pelas tecnologias digitais e as novas relações computacionais entre tempo e espaço. As possibilidades teóricas atravessam disciplinas e são afetadas por conceitos e mecanismos sem precedentes” (Terzidis, 2003).

Neste cenário, não há uma visão particular ou uma linha única de pensamento. A cada momento, em todos os lugares, diversos autores geram novas idéias, novas práticas e novas técnicas. As visões se desdobram em abordagens múltiplas. O material digital ou código oferece novo meio de expressão formal cada vez que o código é traduzido. Durante o processo de concepção, uma idéia é, inevitavelmente, traduzida em diferentes mídias digitais ou plataformas de software, com novas percepções criadas a cada passo, criando oportunidades para o surgimento de idéias inesperadas. Isso resulta em na multiplicidade de pontos de vista, mais afinados aos espaços conceitual e cognitivo. Na verdade, a multiplicidade de percepções permite aos projetistas compreender as relações espaciais com maior complexidade e analisar as possíveis soluções com maior eficiência do que era possível com os métodos analógicos (Tierney, 2007).

A natureza do ciberespaço passou ter novo enfoque nos debate no meio arquitetônico no início da década de 1990. Arquitetos como Marcos Novak no já citado *Computational Compositions* (1988) e em *Liquid Architecture* (1993), William Mitchell em *Logic of Architecture* (1990), Peter Eisenman com *Visions Unfolding* (1992) e Greg Lynn em *Architectural Curvilinearity* (1993) foram alguns dos primeiros a explorar novas possibilidades de concepção da arquitetura no ciberespaço, com o uso de ferramentas digitais. Os conceitos desenvolvidos sobre geometria topológica, **hipersuperfície, hiperarquitetura, blobs e dobras** já indicavam a tendência ao formalismo.

Na continuação das investigações, John Frazer com *Evolutionary Architecture* (1995), Peter Zellner em *Hybrid Space* (1999) e Greg Lynn em *Animate Architecture* (1999) contribuíram com novas abordagens sobre as ferramentas digitais para explorações de novas formas no ciberespaço. Todas essas práticas foram tentativas de revisitar questões formais na arquitetura a partir da nova ferramenta emergente e novos métodos possíveis a partir dessa ferramenta.

No bojo dessa dinâmica, a revista inglesa *Architectural Design* (AD) foi um dos veículos mais importantes para que os primeiros conceitos da arquitetura digital pudessem ser mais amplamente divulgados. Desde a década de 1990 vem publicando a série especializada sobre as aplicações das ferramentas digitais para produzir o novo espaço. A série traz sempre marcas como *Cyberspace* e *Hypersurface* no título para enunciar o tom tecnológico: *Architects in Cyberspace I e II* e *Hypersurface Architecture I, II e III* publicadas a partir de 1995, reeditadas e ampliadas nos anos 2000. Dentre os conceitos veiculados pelo periódico, três tiveram maior repercussão: *transarquitetura* (transarchitecture) e *arquitetura líquida* (liquid architecture), explorados pelo arquiteto Marcos Novak e *hipersuperfície* (hypersurface), cunhado por Stephen Perrella. Todas essas práticas, descritas brevemente abaixo, foram tentativas de revisitá-las questões formais na arquitetura a partir das possibilidades no terreno do digital.

O conceito de **hipersuperfície** foi apresentado por Stephen Perrella na edição de mesmo nome da *Architectural Design* em 1998. Segundo o arquiteto, o termo *hiper* é oriundo das atividades humanas intercedidas pela cultura digital. A *superfície* da qual o autor fala adquire aspectos de continuidade das redes de interconexões. Perrella conta que não se trata de criar novas artes para o ciberespaço e sim de resgatar a arte na arquitetura, sem o tom de artigo supérfluo como qual tem sido tratada por arquitetos em geral. A *hipersuperfície* baseia-se na crítica ao espaço cartesiano e na reinterpretação dos desdobramentos do sonho do grupo Archigram de uma cidade que se constrói de modo imprevisível em função da tecnologia sempre mutante. O autor esclarece que *hipersuperfície* não é algo material. Diz respeito ao ambiente cultural maior onde essa nova arquitetura está submersa, ou seja, o ciberespaço. Nesse contexto, interno e externo, assim como construído e não construído, são barreiras convencionais e transponíveis. Portanto, a *hipersuperfície* não assume as dicotomias real/ material e material/ imaterial.

Figura 2.37: Mobiüs Studies, Stephen Perrella (1998)



A **transarquitetura**, segundo seu autor Marcos Novak (1998), é complementar ao de *hipersuperfície*, desenvolvido por Perrella. ‘Trans’ sugere ‘para além de’, portanto, “*transarquitetura* é a arquitetura além da arquitetura, a arquitetura dos andaimes invisíveis” (Novak, 2003). O termo *transarquitetura* descreve as transformações ou transmutações⁵⁶ a partir da oposição entre físico e virtual. A proposta da *transarquitetura* conduz ao continuum da arquitetura física à arquitetura potencializada tecnologicamente, ou seja, a arquitetura do ciberespaço.

A *transarquitetura* é uma modalidade de expressão que busca o endosso da arquitetura abstrata na era da informática, de modo que permita a consideração de novas alternativas de geração da forma, sem as restrições naturais e técnicas impostas pela materialização da arquitetura. A *transarquitetura* se propõe a examinar os aspectos do progresso tecnológico e teórico sobre o espaço através de novas possibilidades antes impensáveis sem o auxílio das ferramentas digitais. Em resumo, a *transarquitetura* é a combinação entre arquitetura e mídia eletrônica, entre design e máquina.

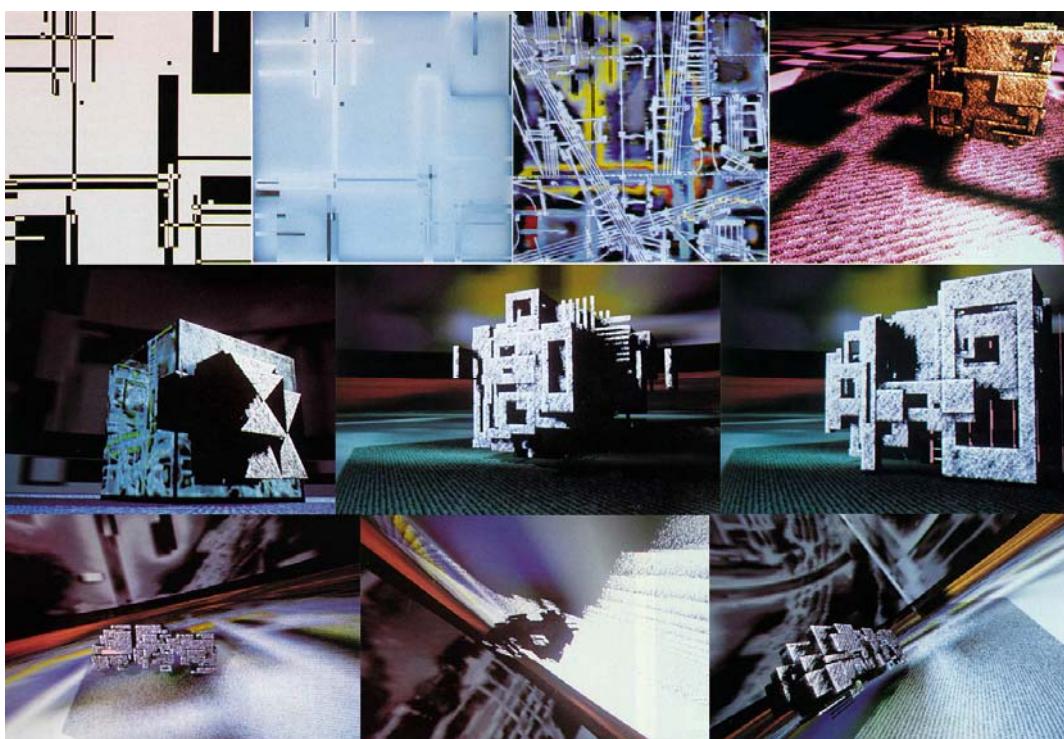
Para criar sua **arquitetura líquida**, Novak (1988) partiu de três princípios fundamentais: modelos paramétricos, liberdade frente aos sistemas estilísticos pré-determinados e trânsito livre do conteúdo informacional dentro do suporte numérico. A arquitetura líquida é, portanto, a arquitetura de relações, onde os objetos construídos transitam no continuum infinito de variações possíveis, submetido à mudança dos seus parâmetros que governam suas formas. O espaço da arquitetura líquida é moldável como seu nome sugere:

“O ciberespaço é líquido. Espaço líquido, arquitetura líquida, cidades líquidas. Arquitetura Líquida vai além da arquitetura cinematográfica, arquitetura robótica e a arquitetura de partes fixas com links variáveis. Arquitetura líquida respira, pulsa, salta de uma forma e de um terreno para os outros. Arquitetura líquida é aquela cuja forma é contingente aos interesses do observador; é uma arquitetura que se abre para me receber e se fecha para me defender; é uma arquitetura; é uma arquitetura sem portas ou entradas, em que o próximo espaço está sempre onde preciso que ele esteja e é sempre o que preciso que ele seja. Arquitetura líquida produz cidades líquidas, cidades que mudam pela alteração de um parâmetro, onde os visitantes de lugares diferentes vêem paisagens diferentes, onde vizinhos compartilham idéias distintas que evoluem e se dissolvem.” (Novak, 2003).

⁵⁶ Dicionário Aurélio, 2ª ed, 1986: **transmutação**. [Do lat. *Transmutatione*] S. f. 1. V. transmulação. 2. Biol. Ger. Formação de nova espécie por meio de mutações. 3. Fís. Mudança dum elemento químico em outro.

O raciocínio de Novak é que se a arquitetura é extensão dos nossos corpos como abrigo para o ser frágil, a arquitetura líquida é aquela onde o ser atua dinamicamente na transformação do seu próprio abrigo. É a arquitetura que não tem forma a priori. Ela se revela no curso da interação entre o usuário e o abrigo. Assim como para Parrella, o espaço de Novak é contínuo entre o físico e o virtual, o local e o não-local, através da virtualidade do ciberspaço e da tele-presença. Seu ambiente está imerso na paisagem imaginária e fluida existente apenas no mundo digital. Portanto, está liberta da necessidade de materialização do espaço físico, sendo um processo de experimentação por excelência. Essa experimentação do mundo digital depende do uso da linguagem da mídia de suporte – o computador, ou seja, os modelos matemáticos dos algoritmos. O autor sugere o novo tipo de arquitetura livre da lógica, da visão limitada da perspectiva, das restrições do mundo material como as leis da gravidade e das restrições racionais do espaço euclidiano. Ela se curva, rotaciona e muda na interação com seus habitantes. Na arquitetura líquida, “ciência e arte, o global e o espiritual, o contingente e o permanente convergem na poética do espaço” (Novak, 2003).

Figura 2.38: Liquid Series, Marcos Novak (1998)



<http://www.zakros.com/liquidarchitecture/liquidarchitecture.html>, acesso em 24 de maio de 2009.

Figura 2.39 Paracube, 1998. Marcos Novak (2003)



No projeto Paracube (1998), de Marcos Novak, o arquiteto está menos preocupado com a manipulação de objetos do que com a manipulação das relações entre as entidades do modelo para causar inflexões no espaço topológico. As formas são instáveis, sujeitas às modificações constantes dos parâmetros.

Outro pioneiro a explorar as novas possibilidades do ciberespaço foi o arquiteto Greg Lynn. No ensaio *Architectural Curvilinearity* publicado em 1993 (Jencks ; Kropf, 1997), o autor sugere novas aproximações no processo de design arquitetônico, baseadas em superfícies topológicas e técnicas de modelagem para produzir espaços dobrados. O tema central do trabalho de Lynn é o a criação da arquitetura mais fluida, a “*smooth architecture*”, cuja “lógica fluida da conectividade” é manifestada por estratégias de design totalmente dependentes do computador baseadas em operações de dobras dos volumes e superfícies (Kolarevic, 2003) como contraponto à rigidez e sobriedade modernas. As formas adquirem aspecto de folha de borracha⁵⁷ onde as curvas e superfícies deslizam continuamente entre paredes, tetos e pisos.

Provavelmente o texto filosófico mais influente na arquitetura digital é *A Dobra: Leibniz e o Barroco* (1992), onde o autor Deleuze também utiliza a arquitetura, dessa vez a Barroca, como metáfora essencial. O conceito essencial, a *dobra*⁵⁸, significa que as partes visíveis de um objeto não necessariamente correspondem à sua totalidade. Por trás das dobras há ambigüidades espaciais que o olho nu não capta. Dessa obra foram extraídos conceitos fundamentais para a arquitetura digital como a *dobra* (folding); espaços dobrados, suaves (smooth) e estriados (striated); flexibilidade e multiplicidade (Kolarevic, 2003).

⁵⁷ “Rubber-sheet geometry” (Kolarevic, 2003).

⁵⁸ Do original, **folding**.

"Smooth mixes are made up disparate elements which maintain their integrity while being blended with a continuous field of other free elements (...) Smoothing does not eradicate differences but incorporates free intensities through fluid tactics of mixing and blending. Smooth mixtures are not homogeneous and therefore cannot be reduced. Deleuze describes smoothness as 'the continuous variations' and the 'continuous development of form..." (Lynn, 1993 in Jencks ; Kropf, 1997).

Os argumentos de Lynn são diferentes daqueles expressos basicamente pelo conflito e contradição proposta no movimento Pós-moderno Deconstrutivista (Kolarevic, 2003). Enquanto esse movimento procurou reincorporar certas complexidades na arquitetura manifestando-se através de volumes deformados, de aparência caótica, para Lynn, a complexidade mais uma vez não foi incorporada a nenhum outro aspecto da arquitetura, restringindo-se à aparência. O autor sugere que a estratégia fundamentada nos conceitos de que maleabilidade (pliancy) e suavidade (smoothness) pode gerar a nova arquitetura mais sensível às interferências externas, estabelecendo novas relações com o contexto, o lugar específico para o qual o objeto arquitetônico é concebido.

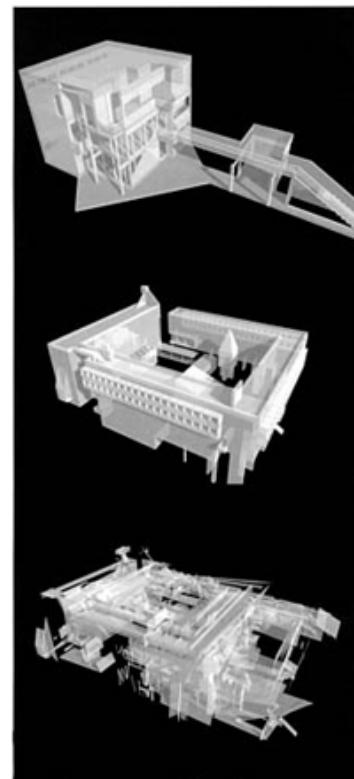
A forma é definida por essas relações de maneira mais dinâmica. A partir de novas relações de conectividade e flexibilidade frente às interferências externas, são gerados espaços contínuos e fluidos, abarcando verdadeiramente a complexidade do objeto arquitetônico. Desse modo, a forma se integra ao ambiente através da técnica ao invés de dominá-lo pela técnica como intentou o modernismo. Assim são conseguidas novas conexões locais, mais bem adaptadas, além da possibilidade de incorporar na arquitetura aspectos culturais mais amplos. A essência do seu argumento é que por intermédio de ferramentas digitais é possível combinar (blend) e misturar (mix) elementos heterogêneos em continuidade fluida. Tal objetivo só pode ser alcançado com operações existentes somente em ambientes computacionais como ***morphing***, ***folding*** e ***blurring***.

"Lynn processa a visualização e os modelos com o software, expondo a geração de um projeto às restrições de tempo, material, tolerâncias estruturais, lugar e forças ambientais tanto como às eleições artísticas e aleatórias derivadas dessas ditas eleições. A perspectiva, as formas e condições arquitetônicas passam a ser variáveis que fluem através do software, afluentes que se unem ao fluxo dinâmico de forças com as que normalmente se enfrenta uma obra de arquitetura. Não é de se estranhar que o resultado mais óbvio do enfoque de Lynn na abordagem da arquitetura fluida seja a aparição daquilo que ele se refere como blobs, e a quase desaparição do ângulo reto e dos volumes cúbicos" (Dollens, 2002).

Figura 2.40: Morphing (Yessios in Kolarevic, 2003)

Morphing entre um edifício de Michael Graves e Le Corbusier. Modelo de Chris Yessios.

“O operação morphing consiste basicamente na seleção de dois objetos e o estabelecimento do número de passo intermediários de transição. O primeiro objeto se transforma no segundo. A essência dessa transformação não reside na forma de destino, mas nas fases intermediárias pelas essas transformações cujas extrapolações vão além da forma final. É a continuidade de transição da forma que progride através da série de etapas evolutivas” (Terzidis, 2003).



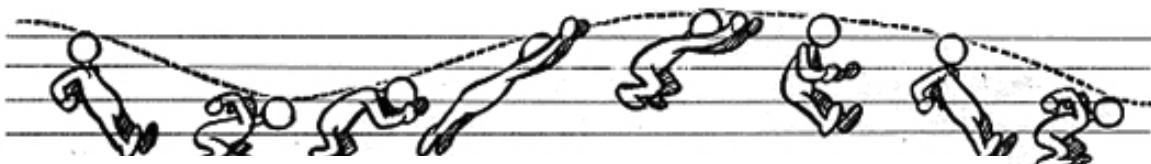
De acordo com Lynn, “enquanto a forma física pode ser definida por coordenadas estáticas, as forças virtuais do ambiente no qual ele é desenhado contribuem para a sua forma” (Lynn, 1998). A tentativa de Lynn é trazer essas forças presentes em ambientes reais, por exemplo, incidência de sol e ventos, através de simulações desse contexto para que a forma arquitetônica seja influenciada por tais forças. Com isso Lynn acredita que possa haver a quebra de paradigmas: “do espaço passivo de coordenadas estáticas para o espaço ativo de interações (...) a mudança da pureza autônoma para a especificidade contextual” (Lynn, 1998).

Para dar contornos aos seus conceitos de fluidez e curvilinearidade, Lynn utilizou software usados para fazer animações para gerar novas formas, criando o que ele chamou de “arquitetura animada” (Lynn, 1999). Segundo Lynn, o modo corriqueiro de empregar a animação na arquitetura elimina o efeito das forças físicas que ocorrem durante o movimento de um objeto. A tentativa de Lynn é incorporar esses efeitos na forma. Seu conceito de “*animate design*” é definido pela co-presença de moção (motion) e força no movimento da concepção (Lynn, 1998). A força aplicada sobre o objeto dispara o movimento e determina as deformações. Para o arquiteto, moção implica em movimento e ação. Já animação (*animate*) implica na evolução da forma e das forças que incidem sobre a forma.

Lynn emprega vasto repertório de aplicações de diversas técnicas de animação realizadas sobre modelos digitais em software, como por exemplo, simulação de campo de força,

animação keyframe, cinemática e emissão de partículas. Todas essas experiências foram publicadas no livro *Animate Design*, em 1998. Em animação de cartuns, a animação keyframe consiste em determinar pontos-chave do movimento, ‘key’; depois o ilustrador desenha os quadros intermediários, frames. O número de quadros e de pontos-chave dever ser suficiente para produzir movimentos harmônicos, sem falhas, quando os quadros são postos em animados. Na arquitetura, a técnica de animação ‘keyframe’ consiste em estabelecer os pontos-chave e determinar o número de quadros. Nesse caso, o computador se encarrega de fazer a interpolação.

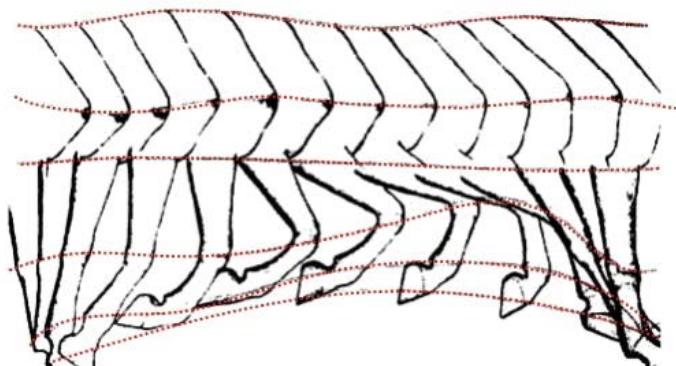
Figura 2.41: Pontos-chave de animação tipo keyframe.



Disponível em <http://minyos.its.mit.edu.au>. Acesso em 14/06/2009.

Lynn também emprega conceitos da cinemática para gerar suas formas inusitadas. A palavra cinemática (*kinematics*) é de origem grega, *kinen*, e significa em movimento (Oene ; Roth, 1979): “cinemática é o ramo da mecânica que trata do fenômeno do movimento sem considerar a causa do movimento. Na cinemática, não há referência à massa ou à força [aplicada para produzir o movimento]; a preocupação é relativa à posição [ocupada pelo corpo no espaço] e suas mudanças (...) Tudo o que se move tem aspectos cinemáticos” (Oene ; Roth, 1979). A cinemática é utilizada em diversos campos do conhecimento humano, como nas artes, no estudo de locomoção de animais, biomecânica, robôs, práticas cirúrgicas.

Figura 2.42: Estudo do movimento de um cavalo (Lynn, 1998)



Lynn observou que a estrutura do animal – o esqueleto, os músculos, as juntas – operam comportamento complexo que delineia as curvas observadas na figura. O arquiteto constrói seus modelos cinemáticos com estruturas hierárquicas analogamente às partes do animal: “esqueleto” formado por “ossos” que funciona como estrutura, conectados por “juntas” e coberto por uma “pele”. Esses elementos são associados uns aos outros por meio de associações paramétricas de modo que o efeito do movimento sobre cada um afete os demais. Assim, o objeto adquire comportamento complexo quando submetido às transformações por pressões externas. Ao movimentar o modelo, as transformações internas são propagadas em função da hierarquia estabelecida. Na técnica de simulação dinâmica, são considerados os efeitos das forças durante o movimento do objeto ou do sistema de objetos, especialmente sobre as forças que não são originadas dentro do sistema em si. Neste caso, as propriedades do material, como massa, densidade, elasticidade e textura, ou rugosidade, são especificadas.

Características do ambiente como ventilação e insolação assim como determinados eventos como circulação de pedestres e veículos podem ser considerados.

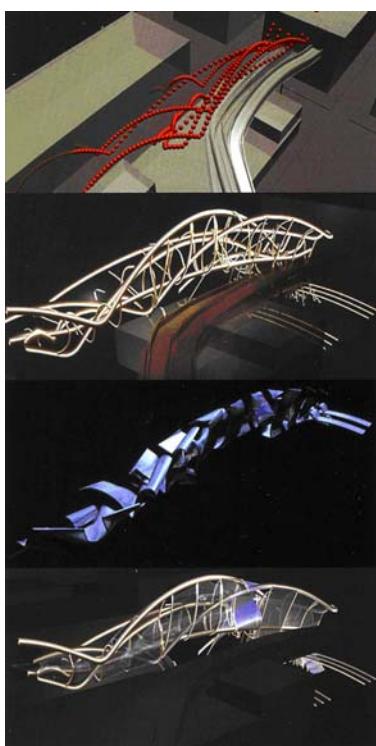


Figura 2.43: Concurso para um ponto de ônibus em Nova Iorque, Greg Lynn, 1998 (Kolarevic, 2003)

No projeto para ponto de ônibus em Nova York, o arquiteto estuda a forma a partir da emissão de partículas que contém peso e densidade simulados. A medida da força também é conhecida. A trajetória das partículas gera curvas que são usadas para formar as linhas gerais da estrutura e as superfícies. A

proposta de Lynn prioriza totalmente a forma. Sua intenção não é criar espaços que possam ser habitados de modo tradicional. Ao contrário, o teor desse trabalho é altamente especulativo (Lynn, 1998). Baseia-se no estudo de D'Arcy Thompson *On Growth and Form*, publicado em 1917, onde esse autor postula que o resultado das formas na natureza e suas transformações são devidos à ação de forças sobre elas. Partindo desse princípio, critica que o espaço moderno era concebido no plano neutro, idealizado e cartesiano que na verdade não corresponde ao espaço dinâmico ‘real’ ao qual a arquitetura faz parte.

Na contramão das experiências artísticas de Lynn e Novak, o arquiteto John Frazer foi um dos primeiros a estudar as possibilidades dos algoritmos na disciplina, com experimentos relatados desde os anos 1960. Em seu livro *Evolutionary Architecture* (1995), Frazer respondeu à crítica de Alexander: “não vejo os computadores como um exército de tediosos funcionários sem criatividade que irá frustrar a todos com os seus pedidos de informações precisas, mas como escravos de infinito poder e paciência” (Frazer, 1995).

Figura 2.44: Modelo de simetria, Jonh Frazer, 1990 (Frazer, 1995)



*Em Evolutionary architecture, Frazer desenvolveu conceitos importantes para o posterior incremento das arquiteturas digitais, como a abordagem ‘evolutiva’ da forma’. O arquiteto tomou as observações de Nicholas Negroponte *The Architecture Machine* sobre a máquina evolutiva e de D’Arcy Thompson sobre a influência das forças da natureza sobre as formas dos organismos para formular suas teorias. O arquiteto se baseou no princípio de que não há algo como ‘ciência da morfologia’, mas que a forma poderia ser explicada por regras generativas. Assim, sua pesquisa se baseou na investigação da “teoria da geração da forma no lugar da teoria de explicação da forma” (Frazer, 1995). O arquiteto empregou algoritmos que reproduziam os “passos evolutivos” (Frazer, 1995) de organismos naturais para simular o desenvolvimento das formas prototípicas. Em pouco tempo, o procedimento gerava formas inesperadas. O desempenho das formas que emergiam dos algoritmos era avaliado em diversos ambientes simulados digitalmente. As amostras ‘mais bem sucedidas’ eram selecionadas para continuar seu desenvolvimento. Desse modo, Frazer desenvolveu uma espécie “evolução natural na era computacional” (Steele, 2001); uma teoria de geração da forma por meio de algoritmos espelhada em modelos da natureza “e não a explicação de proposições que se apóiam na natureza” (Frazer, 1995).*

O autor adverte que, muito embora tenha se utilizado da proposição lógica dos algoritmos, esta não deve ser confundida com seu conceito de projeto. O potencial de cálculo e processamento do computador foi fundamental para simular e comprimir o tempo e o espaço num tempo palpável para a nossa observação em vida. O computador é a ferramenta que acelera as descobertas. “A ênfase, porém, repousa nas técnicas, na

demonstração do modelo teórico e viabilidade técnica, e no funcionamento do pensamento experimento” (Frazer, 1995).

Muito embora alguns desses arquitetos como Novak e Lynn tenham declarado que a intenção de seus estudos era totalmente formal e especulativa, era difícil imaginar como formas tão complexas poderiam ser construídas, ou seja, convertidas em ‘arquitetura materializada’. “Seu compromisso era paralelo às questões práticas que giravam ao redor do surgimento do desenho digital, da arquitetura digital e do espaço digital para a construção de estruturas físicas, tanto em papel como na rede, numerosas propostas de arquitetura digital” (Dollens, 2002). Com efeito, a realização de grande maioria dessas arquiteturas estava restrita aos domínios digitais. Essa dificuldade gerou certa resistência da maior parte dos arquitetos em aceitar o uso do computador para operações além da tarefa de representação. Como resultado, essas novas produções eram tratadas simplesmente como outra nova “moda” na arquitetura. Esse fato explica o tom de ‘panfletagem’ nos textos dos arquitetos digitais, que buscavam a validação de suas novas formas como produtos legítimos de arquitetura.

O interesse dos arquitetos em geral pelo computador como ferramenta de criação de novas formas só tomou corpo quando a construção do Museu Guggenheim de Bilbao de Frank Gehry (1992-1997) foi iniciada. Quando algo tão extraordinário é construído, espera-se que o processo de concepção também seja tão único e extraordinário quanto o resultado. Nesse sentido, o questionamento sobre “*como foi feito*” passou a ser tão ou mais importante do que “*o que foi feito*” (Kolarevic, 2000). O potencial das ferramentas digitais passou a ser objeto de grande interesse, alavancando o desenvolvimento das arquiteturas digitais. Desde então, arquitetos e pesquisadores de todo o globo dedicaram-se a criar novas metodologias e formular novas teorias em sua defesa ou em sua crítica.

“O aprisionamento da visualização digital ao gueto do irreal tem muito a ver, provavelmente, com a categorização aprendida do espaço, e até poucos anos, com as limitações do desenho bidimensional (...). Tradicionalmente, arquitetos e artistas têm representado os diversos objetos tridimensionalmente no espaço bidimensional do papel. Neste espaço, o papel é físico, real, de modo que o desenho é real (nessa esfera de pensamento, a maquete física também pertence à categoria do real). O ciclo de visualização e produção da maquete física se confunde com os meios; por um lado, papel, madeira, plástico, cartão pluma, etc., e por outro, o *software*, os computadores e dos monitores. Dentro da confusão de real/irreal, a idéia que impulsiona a produção visionária se reduz, do processo conceitual e cognitivo, ao objeto que se confunde com o meio que o sustenta” (Dollens, 2002).

CAPÍTULO 3 – O PONTO DE INFLEXÃO

CAPÍTULO 3. O PONTO DE INFLEXÃO

Assim como Le Corbusier buscou dar forma e significado à Arquitetura na era industrial, desde fins dos anos 1980 os arquitetos digitais têm buscado novas definições para a disciplina com base no digital. Enquanto os primeiros usos do computador na disciplina foram direcionados para a representação e visualização das formas concebidas analogicamente, as novas abordagens buscaram a exploração de novas formas pautadas por outros princípios. As ferramentas digitais permitiram levar a cabo explorações formais de espaços não-euclidianos por meio de operações relativamente simples. Segundo Kolarevic (2003), as formas geradas digitalmente são expressão da aproximação renovada na Arquitetura, onde as concepções estilísticas e estéticas são ignoradas em favor da experimentação constante, baseada na geração digital e na variação de formas que respondam a contextos complexos e influências funcionais, ambos simulados digitalmente.

Como foi visto no Capítulo 2 dessa dissertação, arquitetos pioneiros como Marcos Novak, Greg Lynn, John Frazer, William Mitchell⁵⁹, Peter Eisenman e Stephen Perrella se empenharam em estudar novas possibilidades formais com o auxílio da ferramenta emergente, o computador. Foi um momento muito profícuo e criativo; muitas teorias e conceitos foram desenvolvidos nesse período. Os conceitos geralmente eram embalados por textos filosóficos, como por exemplo, fractais, complexidade e sistemas auto-organizados. Formas espetaculares foram geradas, com técnicas muito avançadas de modelagem.

Muito embora alguns desses arquitetos como Novak (1993) e Lynn (1993) tenham declarado que a intenção de seus estudos era totalmente formal e especulativa, era difícil imaginar como formas tão complexas poderiam ser construídas. Essa dificuldade gerou certa resistência da maior parte dos arquitetos em aceitar o uso do computador para operações além da tarefa de representação. Nesse sentido, essas publicações eram tratadas simplesmente como ‘nova moda’ na arquitetura.

⁵⁹ Mitchell começou sua atuação ainda na década de 1970.

De acordo com Branko Kolarevic (2003), a produção do desenho industrial, de escovas de dente a torradeiras, até carros, computadores e aviões já utilizava cantos arredondados e formas orgânicas desde o séc. XIX. No entanto, a produção arquitetônica continuou a reproduzir os ângulos ortogonais da geometria euclidiana até a década de 1990. Kolarevic atribui essa ‘ignorância’ de formas curvilíneas mais complexas na arquitetura à outra ‘ignorância’: a tecnológica. Faltava, segundo o autor, “software de modelagem tridimensional para traçar linhas curvas facilmente manipuladas pelos designers industriais, que as usaram indiscriminadamente em tudo – desde produtos para consumidores até aviões” Kolarevic (2003). Em outras palavras, faltava saber como transpor para a arquitetura; *como fazer*.

Nesse contexto, o Museu Guggenheim de Bilbao foi considerado o grande divisor de águas. Quando o museu de Bilbao ficou pronto, em 1997, seu autor, Frank Gehry provou que era possível construir formas ainda mais exuberantes. Gehry introduziu a complexidade de formas geométricas totalmente novas, livre de formalismos preexistentes. Desse modo, o arquiteto conseguiu ir além da noção pós-moderna de *complexidade formal*, normalmente vinculada às composições deconstrutivistas ou à hibridização de formas.

Assim como Le Corbusier disse que Gaudí foi o último grande arquiteto do Século XIX, o mesmo tipo de declaração pode ser feita a respeito de Gehry e o século XX. Michael Sorkin descreveu o Museu Guggenheim de Bilbao da seguinte maneira: “muitos têm descrito esse edifício como o primeiro do século XXI, apesar de eu preferir pensar nele como a apoteose do nosso [século XX]” (Dollens, 2002). Com efeito, Gehry é o primeiro arquiteto a obter com esse edifício de grande congruência analógico-digital, grande êxito de crítica e público. Um êxito que permite delegar a esse museu o papel de questionador sobre qual o papel que o espaço e as ferramentas digitais tiveram na sua concepção, articulação e construção. Autores importantes como Rivka Oxman (2006) e William Mitchell (2005), por exemplo, dividem a história das arquiteturas digitais em dois períodos claros: antes de Bilbao e depois de Bilbao.

A complexidade formal pretendida pelo arquiteto justificou o emprego de ferramentas digitais extremamente sofisticadas. Por essa razão, a prática de Gehry é freqüentemente associada à tecnologia digital de ponta e processos de fabricação com CAD/ CAM. Basta o rápido olhar sobre o museu de Bilbao para perceber que formas tão complexas dificilmente poderiam ser imaginadas e construídas sem ferramentas tecnológicas poderosas. Com efeito, foi esse projeto que tornou famoso no meio arquitetônico o **Catia**, software desenvolvido pela empresa francesa *Dassault Systems* para a construção dos aviões

Boeing desde a década de 1980.

A importância de estudar a metodologia empenhada no projeto do Museu Guggenheim de Bilbao quase 15 anos depois de sua inauguração reside no fato de essa foi a primeira vez que o potencial pleno das novas técnicas oriundas das ferramentas digitais foi empregado. As novas possibilidades no campo da representação, como as curvas nurbs e a representação integrada dos modelos BIM, adicionadas às técnicas de parametrização e análise de desempenho fazem desse edifício um grande marco na história da Arquitetura e absolutamente fundamental na história das arquiteturas digitais. Além disso, seu método foi amplamente divulgado, favorecendo a análise passo a passo de como as ferramentas digitais foram empregadas em cada etapa do processo. Essa análise pode fornecer chaves valiosas para o entendimento da mudança metodológica dos projetos de arquitetura impressa a partir das novas ferramentas digitais.

Essa mudança fica mais clara se comparada com a metodologia e operações muito distintas utilizadas por Peter Eisenman, especialmente na *Casa Guardiola*, 1988 e no *Aronoff Center for Design and Art*, 1988, sendo esse último considerado como a sua obra paradigmática (Jencks, 2002). Segundo Charles Jencks (2002), Gehry e Eisenman são os principais protagonistas do momento de mudança de paradigma mecânico ao eletrônico na arquitetura. Ambos produziram arquiteturas a partir do intercâmbio íntimo entre arquiteto e software. A comparação entre ambos é de especial interesse, já que em ambos os casos houve mais do que a facilitação possível através da máquina; *houve a criação em parceria entre arquiteto e software*, alcançada por meios bem distintos.

3.1 A repetição infinita de Peter Eisenman

A análise sobre a obra de Peter Eisenman deve considerar que esse arquiteto é avaliado como um dos teóricos mais influentes da arquitetura contemporânea. Em Eisenman, produção arquitetônica e produção teórica são mutuamente influentes, oriundas do caldeirão de elementos da Filosofia, das Artes, Ciências, Semiótica, teoria lingüística e computação. O resultado é a obra fortemente conceitual, multifacetada e plural. Assim como seus textos são cheios de metáforas, citações filosóficas e analogias a diversas outras disciplinas, a análise da sua arquitetura também deve levar em conta esse aspecto diverso da sua gênese.

Como o objetivo desse estudo é identificar as novas técnicas procedentes da ferramenta digital que modificaram a metodologia de projeto, será feito o extrato de alguns aspectos da sua produção que permitam explicar a inserção do computador no seu método de projeção. Nesse sentido, cabe explicitar três pontos interseccionais essenciais em seu discurso: a releitura da representação da arquitetura, os diagramas e as operações exclusivamente digitais.

Desde a década de 1960, Eisenman já demonstrava interesse em composições arquitetônicas não convencionais e métodos mais abstratos de pensar a arquitetura. Esse interesse levou Eisenman a estudar arquitetos incomuns dentro de seus contextos históricos, como Giuseppe Terragini, Piranesi e Andrea Palladio. A composição espacial complexa desses arquitetos fugia da “sedimentação do visível” (Eisenman, 1999), estruturada no paradigma albertiano. Segundo ele, a arquitetura foi engessada pela sua representação, já que esta era fortemente limitada pelos entraves do próprio olho humano. A arquitetura era concebida para ser observada de modos específicos pelo observador. Segundo ele:

“Tradicionalmente, na arquitetura há dois pontos preferenciais de leitura do objeto: o frontal (como adotado na Renascença) ou pela quina (no neoclassicismo). No edifício frontal, a leitura pela quina nada adiciona ao entendimento conceitual sobre o edifício. A leitura dominante é pelo centro ou pela fachada frontal. No neoclassicismo, as fachadas laterais e frontais são concebidas como se fossem uma dobradura pela quina, criando a unidade” (Eisenman, 1999).

Em sua arquitetura, Eisenman procurou romper com essa normatização, propondo composições que pudesse ser observadas de múltiplos pontos de vista. Não há pontos de vista específicos para observar ou entender o espaço confuso criado pelo arquiteto. Na interpretação de Jencks (2002), “Eisenman procura provocar e chocar, desfocalizar a perspectiva, desprivilegiar qualquer ponto de vista, cruzar as fronteiras, borrar categorias (especialmente a fronteira entre old stepped building and his new segmental attachment).” Segundo Jencks, ao evocar o espaço perspectivado contraditório, Eisenman faz clara referência ao espaço de Piranesi. R. E. Somol (in Eisenman, 1999) adiciona que as composições de Eisenman são influência da colagem Cubista, fato perceptível na articulação de pares dialéticos⁶⁰ que o arquiteto emprega com o objetivo de gerar

⁶⁰ Filos. Desenvolvimento de processos gerados por oposições que provisoriamente se resolvem em unidades. Hist. Filos. Conforme Hegel (v. hegelianismo), a natureza verdadeira e única da razão e do ser que são identificados um ao outro e se definem segundo o processo racional que procede pela união incessante de contrários — tese e antítese — numa categoria superior, a síntese. Fonte: Dicionário Aurélio, 2004.

contradição e ambigüidade: centro e periferia, vertical e horizontal, interior e exterior, frontalidade e rotação, cheio e vazio, ponto e plano, e assim por diante.

No plano conceitual, é a partir do *diagrama* que Eisenman vê a possibilidade de superar “a trajetória pós-renascentista da arquitetura: obcecada com o desenho, representação e composição” (Somol in Einseman, 1999). De modo genérico, Eisenman (1999) define diagrama como “graphic shorthand”, uma espécie de ideograma, um símbolo, porém não necessariamente abstrato. É a representação de algo, sem ser o próprio objeto representado. Como tal, não pode ser isento de valor ou significado, mesmo quando utilizado para expressar relações entre objetos. Portanto, “apesar de explicar relações entre objetos arquitetônicos, não é isomórfico⁶¹ à arquitetura” (Eisenman, 1999), ou seja, não pode ser ‘a representação’ da arquitetura no sentido estrito do termo, ao contrário do desenho, ficando aqui resguardada a diferença fundamental entre ambos.

Diferentemente dos modos tradicionais de apropriação, o diagrama de Eisenman funciona como o mediador entre o objeto palpável e o edifício real. Sua crítica em relação ao diagrama de Christopher Alexander (1971) é que este não foi ‘diagramático’ o suficiente, porque ainda estaria vinculado à noção de representação tradicional. O diagrama era na verdade, um substituto do desenho e, como tal, representava as condicionantes do projeto de maneira estática. A tentativa de Eisenman foi ultrapassar esse vínculo sutil, mas importante ao desenho, atribuindo valores aos diagramas. O arquiteto introduziu significado às linhas do diagrama, relacionando-as ao contexto do projeto. O diagrama de Eisenman possui ‘carga’, ‘peso’, é um valor com vínculo no ‘real’ e não somente a representação de problemas. A aproximação que Eisenman faz do diagrama de Eisenman, no entanto, não é nem como síntese da arquitetura e nem estritamente analítico.

Eisenman identificou que nesse modo de apropriação do diagrama associado à definição de Deleuze de que o diagrama é “o conjunto flexível de relações entre forças” (Eisenman, 1999) havia o potencial de registrar as forças do sítio e o movimento a partir de inflexões sobre a forma arquitetônica. Com isso, Eisenman antecipou a necessidade das aplicações de técnicas de animação sobre modelos digitais tridimensionais, bem como as possibilidades que esse desenvolvimento traria (Somol in Eisenman, 1999). A partir daqui, a distinção entre Alexander e Eisenman fica mais clara. A construção diagramática de

⁶¹ Álg. Mod. Correspondência biunívoca entre os elementos de dois grupos que preserva as operações de ambos. Fonte: Dicionário Aurélio (2004).

Eisenman é dinâmica, capaz de produzir um modelo de repetição não-linear. O diagrama é deslocado do papel de ferramenta analítica e descritiva, passando a ter atributos materiais. Essa diferença capital permite a Eisenman a manipulação ‘material’ do diagrama e não representacional, como fez Alexander.

Em última instância, o ponto de convergência entre Alexander e Eisenman reside na defesa da mudança de foco *do objeto para a relação*. É precisamente nesse ponto que a representação convencional falha, uma vez que não é possível se livrar da carga simbólica a ela associada. Nesse caso, o diagrama como torna-se o instrumento de alavanca do processo de libertação entre representação e arquitetura porque permite olhar para o objeto arquitetônico não mais pelas suas qualidades *estéticas perceptivas* mas através das *relações conceituais* que permitem diversos arranjos.

A informação é o conteúdo básico do diagrama que pode ser submetida a ações prolongadas de transformação para gerar novas formas: *informing, transforming, performing*⁶² (Somol in Eisenman, 1999). Eisenman procura, então, submeter a forma à revisão perpétua de uma exaustiva seqüência de operações: transformações, decomposição, grafting, scaling, rotation, inversion, superposition, shifting, folding, etc. E é esse catálogo de procedimentos que se tornam o ponto principal da arquitetura, a pré-condição para a aproximação diagramática” (Somol in Eisenman, 1999).

As investigações de Eisenman demandavam uma forma ideal ou genérica, que servisse de pano de fundo para as suas manipulações compostivas. Além disso, a representação dessa forma genérica deveria estar livre do ponto único e central derivado da perspectiva. Eisenman encontrou a solução no cubo axonométrico de John Hejduk formado pelo diagrama de nove quadrados de Wittkower, utilizado por este arquiteto como dispositivo educacional em meados da década de 1950. O cubo de Hejduk é fruto da conjunção de dois diagramas modernos – a estrutura da Casa Domino de Le Corbusier e o espaço axonométrico de Theo van Doesburg. Ficou famoso na série de projetos intitulada *Texas Houses*.

Deste modo, Eisenman, ao lado de Hejduk, recuperou a técnica de representação axonométrica, também chamada de projeção paralela. A projeção axonométrica foi

⁶² Palavras sem paralelo lingüístico quando empregadas nesse sentido.

amplamente utilizada pelas vanguardas modernistas entre 1920 e 1930, tendo desaparecido como instrumento de representação gráfica ao final da década de 1950. A partir desse momento, passou a ser evitada por aqueles que tentam imitar a mídia mais pictórica e estática na reconstrução pós-guerra do alto modernismo. Os efeitos de “floating”, “rotation” e a diagonal eram vistos com maus olhos por teóricos importantes como Colin Rowe.

Essa técnica trazia vantagens importantes para as intenções de Eisenman. “Em contraste com o outro modo dominante de representação em três dimensões, a perspectiva renascentista, a projeção axonométrica favorece a autonomia do objeto transportando informações objetivas e mensuráveis, no lugar da distorção ótica criada pelo ponto de fuga orientado ao olho do observador” (Somol in Eisenman, 1999). Em outras palavras, a axonométrica permite a análise conjunta de plantas e elevações em verdadeira grandeza sem distorções. Cabe ressaltar que Eisenman recuperou a representação axonométrica “não mais como instrumento de representação, mas como ferramenta de projeto, utilizando suas características generativas” (Somol in Eisenman, 1999).

Eisenman parece usar todos estes elementos de maneira alinhada ao método histórico de Manfredo Tafuri (in Nesbitt, 2006). Assim como Eisenman, Tafuri celebra a importância contestatória e revigorante dos experimentalismos e vê na história a possibilidade de compreensão e aprendizado dos processos internos da arquitetura, já que a história é resultante de suas próprias tradições, objetos análise e métodos adotados. O método histórico de Tafuri pressupõe a necessidade de trabalhar o interior se sua própria crise para buscar novas possibilidades de discussão para os mesmos problemas a partir da experimentação de novas direções e não de soluções definitivas. Seguindo a mesma linha de raciocínio, o método de Eisenman é fortemente experimentalista, instituído sobre a desmontagem e remontagem do existente até a exaustão para então buscar as possibilidades do novo.

A combinação desses dois aspectos, a experimentação com modelos e a análise histórica crítica permitem a extração, descrição, classificação e manipulação de possíveis constantes da arquitetura, com o fim de fundar métodos lógicos e unitários de análise e projeção. “Experimentação como investigação conseqüente, carregada de intencionalidade, a fim de trazer à luz o que estava reprimido pelas convenções que confinava à função a potencialidade da forma” (Lacombe, 2006). Como disse Deleuze (apud Somol in Eisenman, 1999) “a destruição que conserva e perpetua a ordem estabelecida de representações,

modelos e cópias e a destruição de modelos e cópias que gera o caos criativo”.

É da interseção desses três aspectos – paradigma da visão, diagrama e as operações sobre o cubo neutro – que podem surgir algumas portas de entrada do computador no processo. O computador é a ferramenta que permite a materialização do pensamento no processo de gênese da arquitetura que precisa ser visualizado (Galofaro, 1999). Se o diagrama é a geratriz conceitual a partir do qual a forma emerge e o cubo neutro é o suporte operacional, o computador é a ferramenta que concretiza essa forma por meio de operações exclusivamente digitais. É inserido no processo de Eisenman como amplificador do olhar, conferindo-lhe novo ânimo e maior liberdade compositiva ao abandonar as limitações da ‘janela’ bidimensional da geometria clássica. Em última análise, o olho pan-óptico do computador permite *desenhar de maneira diferente* exatamente porque vê de maneira diferente.

“Meu trabalho se baseia, em última instância, em extrair conceitos de outros métodos. Por isso comecei a trabalhar com computadores, pois tudo o que podemos fazer como humanos é projetar eixos e lugares. O computador produz conceitos e projeto de maneira diferente. Dependo cada vez mais de computadores porque através deles podemos produzir coisas que não poderíamos a vinte anos” (Zaera-Polo, 1997).

Para ilustrar como o computador desenha diferente, Eisenman cita o exemplo da operação vetorial do *morphing*. Em algumas ferramentas digitais, é possível produzir formas a partir da interpolação de dois ou mais contornos. O objeto A se transforma no objeto B a partir de uma trajetória. Esse tipo de operação é um exemplo de operação digital que não se assemelha a nenhum método de desenho manual. “A forma gerada por esse técnica conterá inúmeras seções diferentes, cujos vetores só podem ser analisados matematicamente pelo computador ‘de maneira que um humano não poderia’, como afirma Eisenman. Assim, ao perceber que o que os humanos fazem é ‘desenhar eixos e lugares’ e notar que o computador oferece novos modos de produção de desenhos, Eisenman aponta para um uso inovador das ferramentas digitais em benefício da criação de novas formas na arquitetura” (Florio, 2008). Essas operações são fundamentais porque são os procedimentos ativos de construção da forma, antes dos quais a forma simplesmente não existe (Somol in Eisenman, 1999).

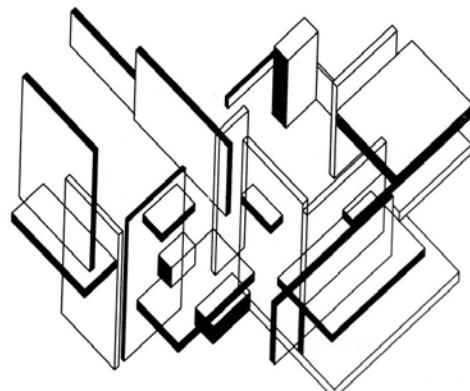
Vencida essa breve explicação teórico-conceitual da obra Eisenman, é possível analisar as contribuições técnico-metodológicas de seus dois projetos mais significativos desse momento de inflexão nas arquiteturas digitais.

A melhor maneira de analisar o método conceptivo da Casa Guardiola é por meio da representação videográfica. Nessa modalidade, a série de passos transformativos que Eisenman pode ser visualizada de maneira dinâmica, ilustrando com clareza as operações executadas sobre o modelo. Contudo, se analisarmos as imagens em série, isolarmos os aspectos teórico-conceituais e focalizarmos nas manipulações é possível distinguir e avaliar seus passos metodológicos.

Eisenman parte do cubo neutro de nove quadrados. Atinge a complexidade a partir da decomposição do cubo em formas geométricas mais simples, como planos e retas. Em seguida, parte para a movimentação dessas figuras geométricas por meio das operações descritas em *Diagram Diaries* (1999): extrusão, torção, deslocamento, rotação, extensão, entrelaçamento e assim por diante. As formas são decorrentes da adição, interseção e subtração das partes decompostas do cubo. A computação gráfica é utilizada para efetuar as operações booleanas.

Figura 3.1: Composição criada por Van Doesburg e Van Eesteren, 1925 (Mitchell, 2008)

Os arquitetos do movimento De Stijl costumavam trabalhar em mundos projetuais governados por axiomas que permitiam que sólidos retangulares se interceptassem, mas exigiam que eles fossem arranjados de maneira estritamente ortogonal (Mitchell, 2008).



A CASA GUARDIOLA

Neste projeto, Eisenman partiu da decomposição do cubo. As partes resultantes foram duplicadas e sobrepostas em diversas posições, alternando cheios e vazios. As quinas formadas foram utilizadas como eixo de transformação. A forma embrionária do cubo sofreu justaposições, sobreposições, deslocamentos e rotações nos eixos x, y e z. Os volumes resultantes eram adicionados ou subtraídos por operações booleana. O percurso da composição pode ser acompanhado na série de imagens que clarifica o método como o arquiteto manipula as projeções e eixos do cubo para efetuar transformações sobre o mesmo. A animação produzida por Rodrigo Herrera Velazco permite a análise visual das operações realizadas por Eisenman para gerar a volumetria complexa da residência.

Figura 3.2: Processo compositivo formal da Casa Guardiola, Eisenman

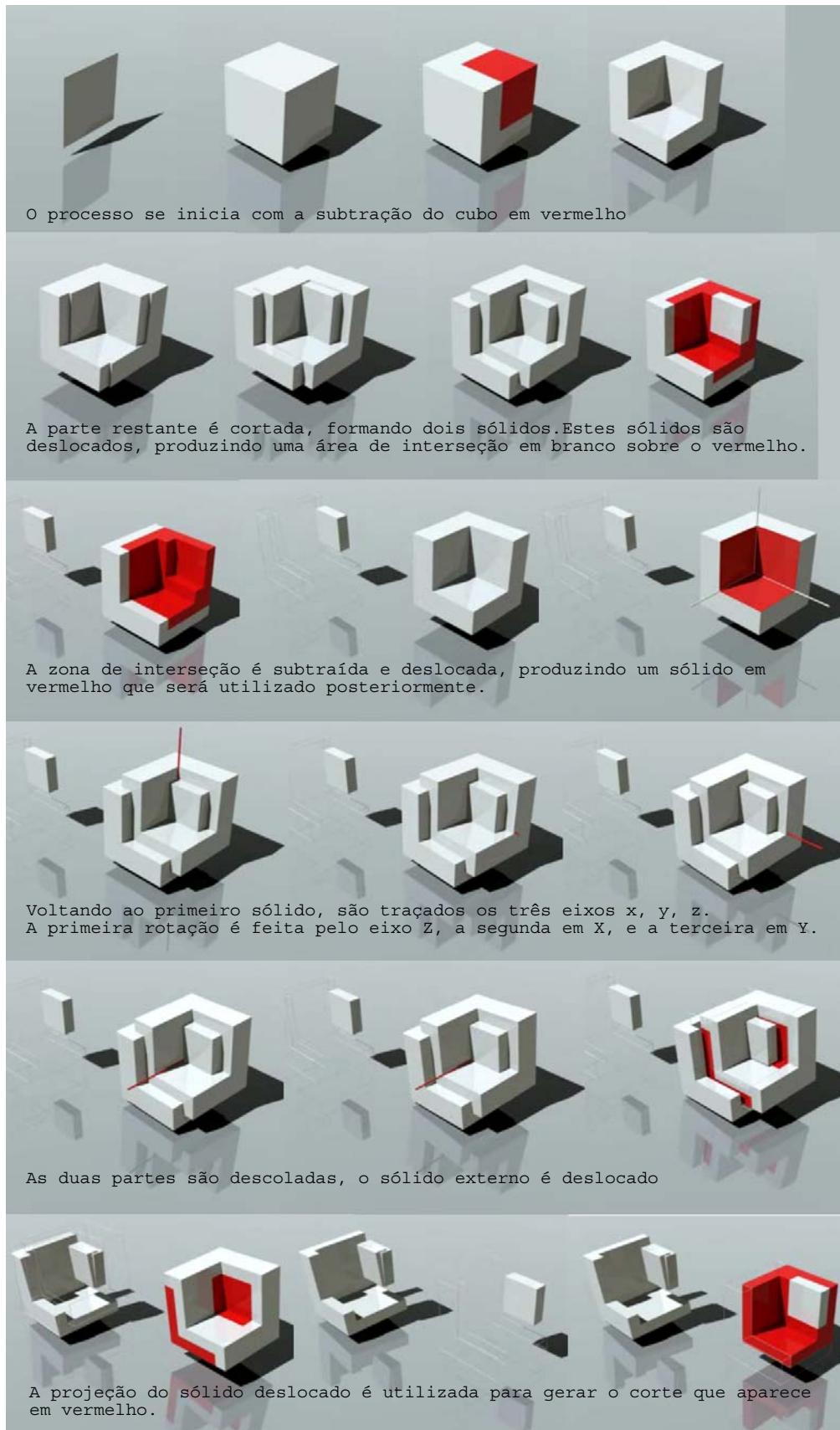


Figura 3.3: Processo compositivo formal da Casa Guardiola, Eisenman

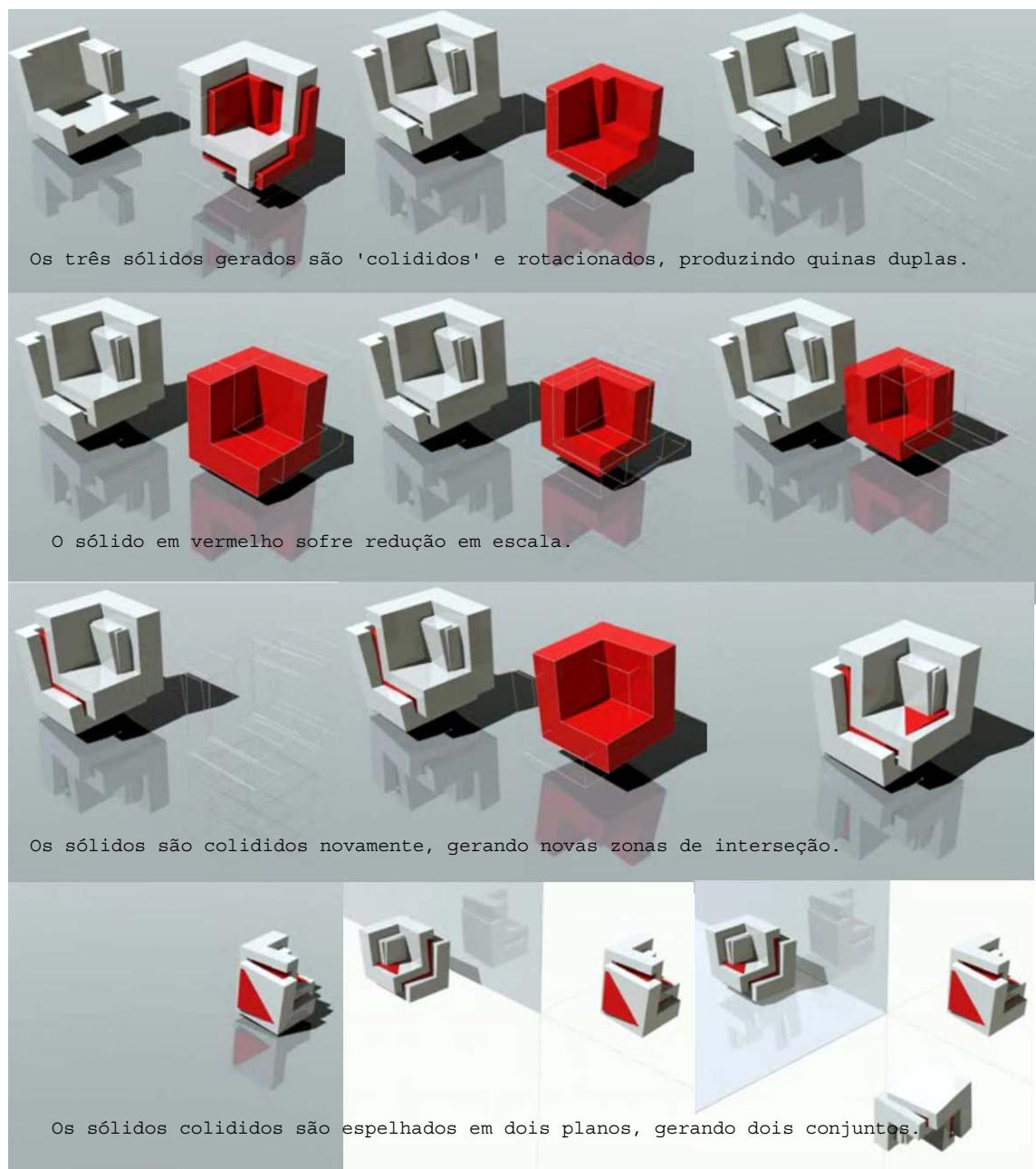
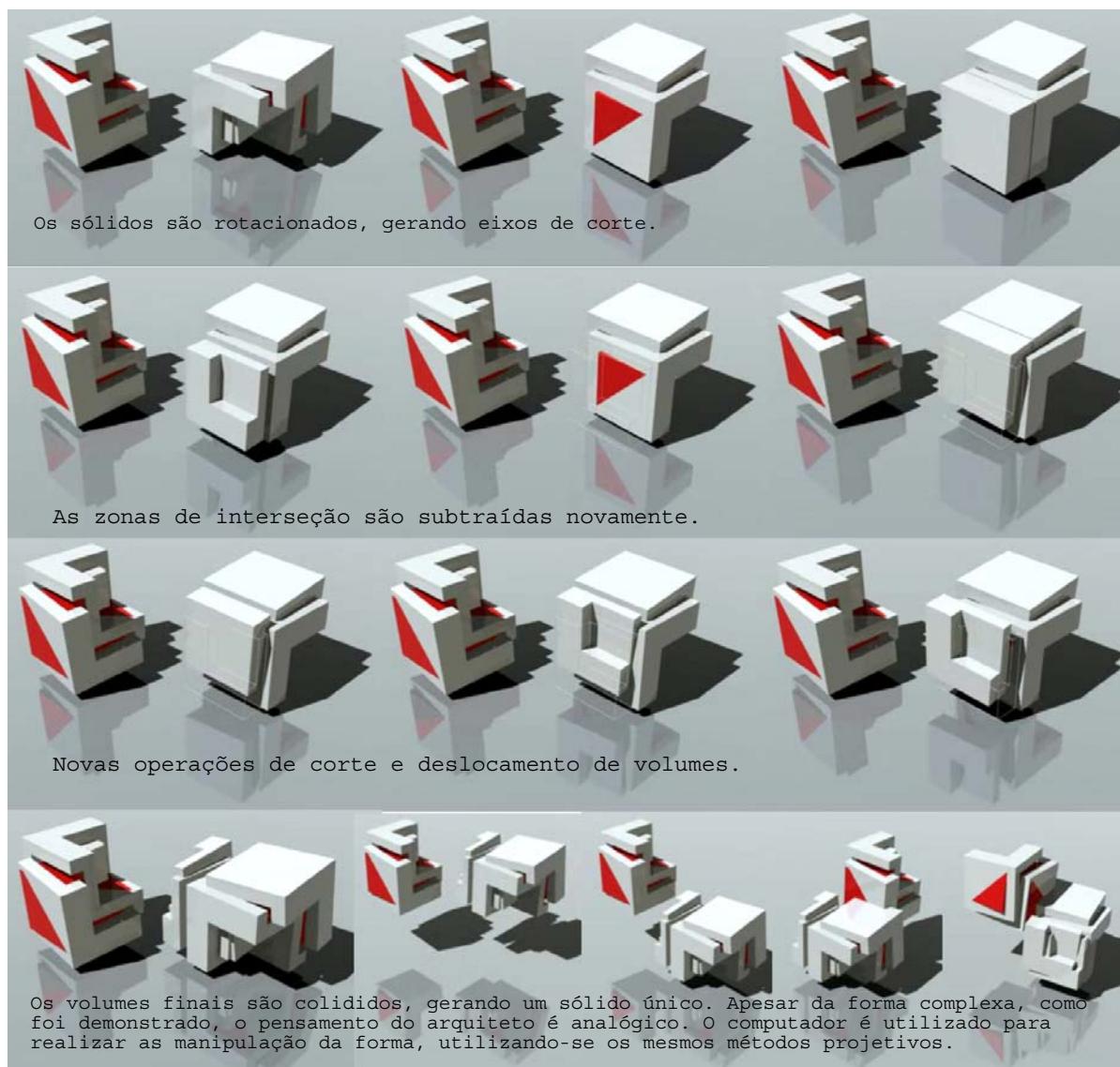


Figura 3.4: Processo compositivo formal da Casa Guardiola, Eisenman



3.2 A experiência de Frank Gehry

Diferentemente de alguns contemporâneos como o próprio Eisenman, Gehry sempre declarou publicamente sua ojeriza aos computadores. O arquiteto nunca gostou de como a arquitetura se parece na tela dos programas. Para ele, a imagem digital pode ser perigosa e subversiva para o olho do designer (Shelden, 2002). Sua postura nunca foi ideológica em defesa do computador ou de uma nova arquitetura, como seus colegas. Sua intenção, como ele mesmo declarara em entrevista concedida para Alejandro Zaera para *El Croquis 74/75* (1995), era construir as formas livres que ele imaginava.

Figura 3.5: Edifício Sede da R.T.D, Los Angeles, 1987. (*El Croquis 74/75*, 1995)

Figura 3.6: Museu Vitra, Weil AM Rhein, Alemanha, 1989. (Van Bruggen, 1997)



Os ‘rastros’ das ferramentas e dos processos metodológicos convencionais e as conseqüentes limitações que estes imprimem à forma arquitetônica também podem ser observados nas formas de Gehry pré-Bilbao. Em seu histórico, é possível perceber que o arquiteto já vinha desenvolvendo e construindo formas cada vez mais complexas, desde a década de 1980. As curvas cada vez mais audaciosas que Gehry desejava em seus projetos alimentavam a dificuldade de construí-las. Para manter as curvas artísticas dos edifícios, o arquiteto lançava mão de alguns artifícios que ajudavam a contornar essas

dificuldades.

Tais artifícios podem ser observados claramente no *Weisman Art Museum* em Minneapolis (1990-1993), o último projeto de Gehry feito ‘à mão’, isto é, com técnicas tradicionais de representação (El Croquis, 1995). Os trechos curvos das superfícies são fragmentos de sólidos platônicos, desenvolvidos e representados de modo convencional. Em alguns momentos, Gehry empregou chapas de metal dobradas, sustentadas por estruturas de aço engastadas em paredes ortogonais simples para compor as curvas. Quando comparadas com as curvas muito mais livres do *Museu Guggenheim de Bilbao*, ficam evidentes as limitações formais que as ferramentas convencionais infligiram às formas do *Weisman Art Museum*. Para representá-la sob as regras clássicas dos desenhos executivos tradicionais e posteriormente construí-las, até então era necessário se basear nos elementos geométricos platônicos e nos métodos projetivos de representação.

Figura 3.7: Museu Weismar (El Croquis, 1995)

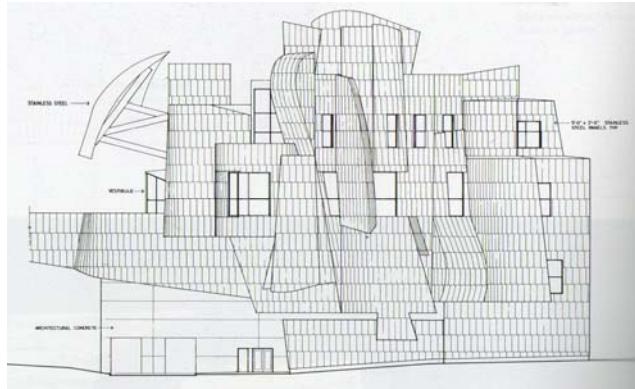


Figura 3.8: Museu Weismar (Dal Co; Forster, 2003)

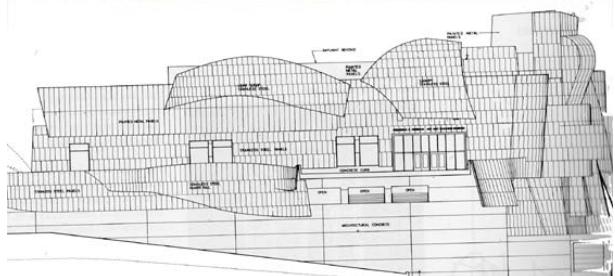


Figura 3.9: Detalhamento convencional do Museu Weismar (Dal Co; Forster, 2003)

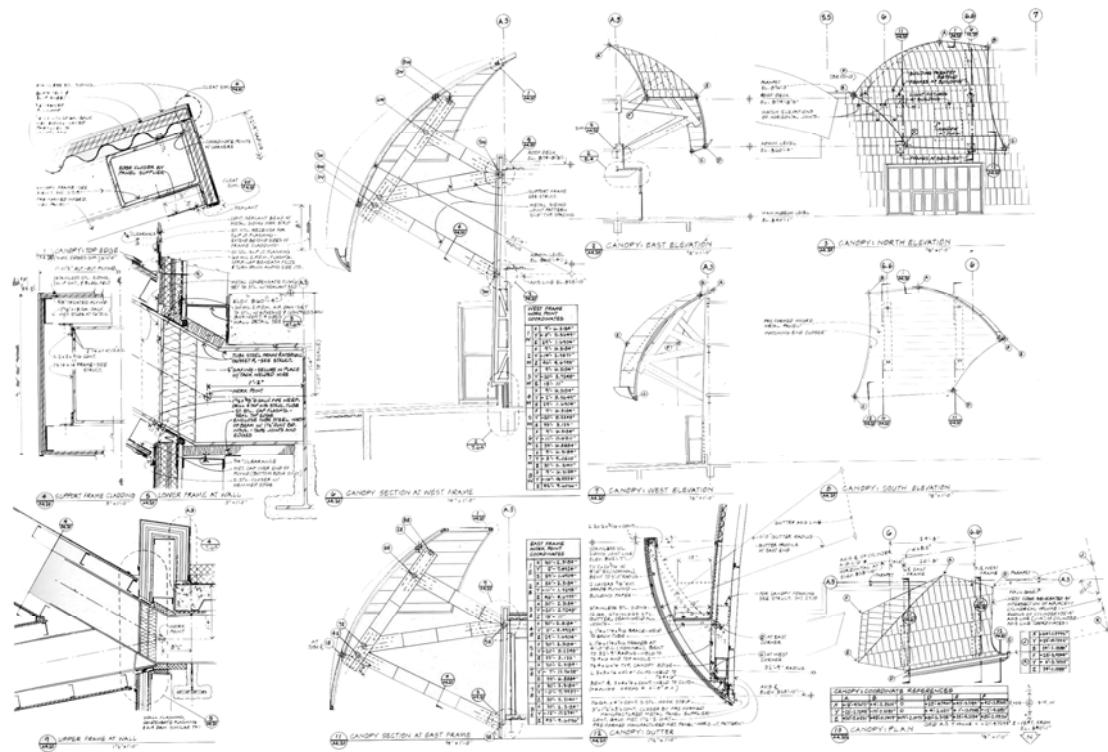
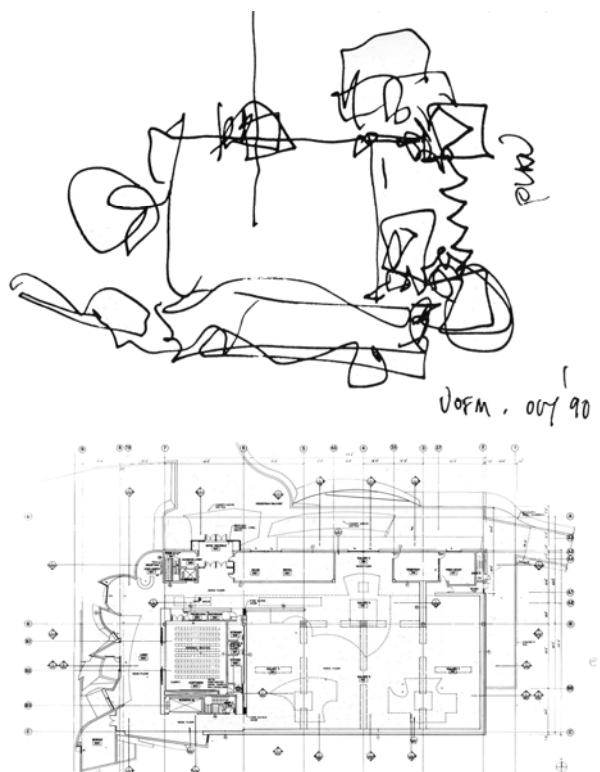


Figura 3.10: Museu Weismar (Dal Co; Forster, 2003)

Na evolução do trabalho da equipe, é possível rastrear o desenvolvimento progressivo da geometria das superfícies imaginadas por Frank Gehry. Associado a esse processo, também é possível perceber a expansão contínua das técnicas de descrição, representação, modelagem e construção de classes admissíveis de superfícies. Essa progressão é visível nas formas cada vez mais curvilíneas, com aspecto de folhas de papel projetadas pelo arquiteto. Tendo o Museu Guggenheim de Bilbao como ponto de inflexão inquestionável dentro de sua trajetória, o que se observa na



produção de Gehry pós-Bilbao é o surgimento de curvas cada vez mais suaves (*smooth*). Nos anos subsequentes ao projeto de Bilbao, a equipe de modelagem do *Gehry Partners* chefiada por Dennis Shelden se especializou em técnicas importantes de representação e concepção digital.

As primeiras maquetes do *Walt Disney Concert Hall* (1989-1990) “documentam a extensão da abordagem manual do escritório no desenvolvimento de geometrias complexas com o vocabulário de elementos de superfícies euclidianas” (Shelden, 2002). Os trechos curvos foram resolvidos com superfícies cônicas euclidianas. Em 1998, quando o projeto foi retomado, os conhecimentos adquiridos com a experiência bem sucedida de Bilbao começaram a ser aplicados. A diferença entre as duas estratégias de representação ficou clara. Enquanto as primeiras superfícies do *Walt Disney Concert Hall* foram *desenhadas* em mídia convencional, baseadas na regularidade dos sólidos platônicos, na segunda versão, as superfícies foram geradas por processos digitais partindo de flexões das linhas-guia das **superfícies regradas**, subdivididas em painéis. O *Experience Music Project* (1998) representou a consolidação dos conhecimentos adquiridos com o *Museu Guggenheim de Bilbao*, especialmente das técnicas de **racionalização** e **continuidade tangencial**. Na seqüência, o time de Gehry desenvolveu em paralelo as técnicas de **superfícies desenvolvíveis** e **análise gaussiana**, das quais a *Weatherhead School of Management* (2002) é o projeto mais ilustrativo. Cada uma dessas técnicas de representação significou um passo adiante na evolução das técnicas de projeto assistido por computador. Por sua vez, cada uma implicou em estratégias construtivas distintas, como será visto adiante.

3.2.1 A primeira experiência: o Peixe de Barcelona

Por volta de 1989, o escritório de Frank Gehry encontrava dificuldades em construir o projeto de *Walt Disney Concert Hall*. O projeto havia sido desenvolvido pelo *Gehry Partners* com a ajuda de engenheiros aeroespaciais franceses que trabalharam no jato *Mirage Fighter*. Os engenheiros desenvolveram o modelo digital do painel de pedra curvo no exterior do edifício, que foi utilizado para simular o método de construção automatizado e demonstrar as fases da construção. Apesar de os engenheiros terem conseguido comprovar que era possível construir as formas complexas com o auxílio do computador, o custo da construção era inviável.

Como era de praxe no *Gehry Partners*, um escritório de arquitetura foi contratado para gerar os desenhos executivos do projeto. No entanto, esses desenhos foram considerados

insatisfatórios porque não conseguiam reproduzir com clareza a intenção de Gehry. O problema, segundo o arquiteto, era que os arquitetos contratados insistiam em fazer os desenhos de modo convencional. Quase dez anos depois, quando o projeto foi retomado, todos os desenhos produzidos pelo escritório contratado foram refeitos, uma vez que não era possível construir o edifício a partir daqueles desenhos (Lindsey, 2002).

Para resolver a questão, Gehry contratou o arquiteto especialista em projeto executivo, Jim Glymph. Nessa época, em 1989, o escritório contava com apenas dois computadores. Partiu de Glymph a idéia de que o uso do computador fosse a chave para construir formas de geometria complexa. A primeira oportunidade de testar a nova ferramenta foi na *Vila Olímpica de Barcelona*. O escritório *Skidmore, Owings e Merrill* (SOM) foi responsável pelo planejamento geral do sítio e Gehry desenvolveu o projeto para o centro comercial, com 14 mil metros quadrados. No centro da praça, Gehry propôs a escultura do peixe com 54 metros de comprimento e 35 metros de largura. O desafio era grande: produzir uma forma tão complexa, em pouco tempo e com orçamento apertado. O projeto foi iniciado com croquis de Gehry que foram traduzidos em uma maquete de metal e madeira. Glymph contou com a ajuda de William Mitchell, então professor em Harvard. Juntos, desenvolveram o modelo digital do projeto no software *Alias*.

Figura 3.11: Peixe de Barcelona e modelo digital correspondente (Kolarevic, 2003)



Apesar da representação da forma conseguida com o emprego do software ser muito aproximada ao desejo de Gehry, a ferramenta não era capaz de dar as informações necessárias para a construção do objeto. A superfície do modelo no *Alias*, era definida por uma grade de polígonos que não permitia a localização precisa dos pontos no espaço. Em outras palavras, a ferramenta utilizada, a despeito de sua capacidade de representar superfícies de geometria complexa, não suportava a conexão com o sistema CAM de

construção, passo considerado fundamental por Glymph.

Partiu de Glymph a idéia de recorrer às ferramentas de modelagem utilizadas nas indústrias de equipamentos de transporte para conseguir construir o peixe. Glymph sugeriu, então, a utilização do software que alcançou o estrelado no meio arquitetônico, o *Catia*, software inicialmente desenvolvido pela empresa francesa Dassault na construção do Boing 777. Por ser uma ferramenta de engenharia, o *Catia* oferece ferramentas de análise de superfície que o software *Alias* não possui. Muito embora o *Catia* não forneça a avaliação detalhada do comportamento da malha de pontos da representação digital, esse software possibilita a análise da curvatura das superfícies. Além disso, o *Catia* permite que as superfícies curvas sejam planificadas, permitindo a aproximação razoável dos perfis da malha necessários para cobrir a superfície (Shelden, 2002). Segundo o depoimento de Glymph:

"Usando métodos anteriormente empregados pelo escritório de Gehry para produzir os tediosos desenhos feitos à mão; caibros, fios de prumo e inúmeras medidas, um modelo digital foi produzido. Esse modelo foi baseado no controle numérico completo do *Catia*, desenvolvendo descrições para a superfície que foram descritas por equações polinomiais. A superfície foi literalmente 'construída', utilizando equações matemáticas da geometria descritiva. Isso permitiu a localização espacial de qualquer ponto da superfície a ser determinado com precisão. Modelo digital de Smith foi usado para gerar diretamente um modelo de papel cortado a laser que foi comparado com o modelo físico original, a fim de verificar a exatidão da tradução. Combinou." (Lindsey, 2001)

A firma italiana *Permasteelisa* contratada para construir a escultura era obrigada por contrato a produzir o protótipo em escala real para demonstrar que o método construtivo por ela adotado estava correto. Trabalhando de dentro para fora, ou seja, da estrutura para a superfície ou 'pele', falharam seis vezes até inverterem o sistema: de fora para dentro, isto é, da pele para a estrutura, como se procede nas indústrias naval, aeroespacial e automotiva. A solução era fazer com que a forma seguisse estrutura da pele⁶³. A precisão do modelo era impressionante. Pelas palavras de Glymph: "das centenas de conexões duas estavam deslocadas 3 mm" (Lindsey, 2001).

A experiência do peixe deixou claro que somente com o auxílio do computador que formas tão complexas poderiam ser construídas. A aplicação dos conhecimentos adquiridos no projeto do peixe de Barcelona tornou possível a construção do Guggenheim de Bilbao, considerado a primeira arquitetura digital edificada (Dollens, 2002). Como disse Glymph:

⁶³ "form follows structure" (Lindsey, 2001: 38).

“muitas das formas que [Gehry] está desenvolvendo agora só são possíveis através do computador (...). Bilbao é um exemplo perfeito. Antes do desenvolvimento das aplicações de computador no escritório, elas teriam sido consideradas algo do qual se afastar.” (Lindsey, 2001).

3.2.2 O Museu Guggenheim de Bilbao

A maquete enviada para o concurso do novo *Museu Guggenheim* em Bilbao, realizado em 1991, foi acompanhada de belos desenhos de representação convencionais – plantas, cortes e fachadas – aquarelados à mão (Lindsey: 2002). O time de Gehry venceu o concurso do museu de Bilbao ao mesmo tempo em que desenvolvia os projetos para o *Nationale-Neederlanden Building* em Praga e o edifício da administração do *Team Disneyland*. Apenas três computadores no escritório possuíam o software *Catia*.

Durante os três anos subseqüentes de desenvolvimento do projeto, foram utilizados os métodos convencionais de representação em duas dimensões, confeccionados a partir das maquetes de estudo. Somente quando a maquete final ficou pronta, o computador passou a ser amplamente utilizado no processo. O modelo digital no *Catia* foi feito a partir da digitalização da maquete final do projeto completo. No entanto, havia ainda certa dúvida em relação à precisão da transferência das informações da maquete física para o modelo digital. (Lindsey, 2001). A fim de realizar a conferência, foi confeccionada a última maquete física a partir das informações extraídas do modelo digital, com o auxílio de uma fresa automatizada. Uma vez verificadas as informações do modelo digital, este passou a ser a referência dimensional para o desenvolvimento do projeto e, mais tarde para a construção. Ao final do processo, a equipe contava com um modelo mestre digital completo e a correspondente maquete física mestra que serviam de guia para todas as etapas posteriores de preparação para construção.

O processo foi bastante longo e muito trabalhoso. Sem a ferramenta computacional, teria sido impossível. Segundo Glymph (in Zaera, 1995) “a idéia [do Guggenheim] pode ter sido esboçada primeiro nem desenho, mas nunca poderíamos ter construído. Bilbao poderia ter sido desenhado com lápis e papel, mas levaria décadas.”. Essa afirmação é facilmente verificada com alguns dados estatísticos do projeto: “não existem dois elementos iguais da estrutura para a construção de 24,000 m². Uma figura descreve essa complexidade e a impossibilidade de organizar o projeto sem a utilização do modelo digital do *Catia*; 50.000 desenhos e 60.000 horas de tempo de computação foram necessários para produzir os

elementos da fachada do edifício." (Lindsey, 2001).

A companhia espanhola *Urssa* desenvolveu a partir de outro software, o **Bocad**⁶⁴, os desenhos necessários para a construção da estrutura metálica. A grade da estrutura do edifício é composta por uma armação de aço, com três metros de um dos lados. Enquanto os componentes de aço são retos, com exceção da longa galeria e da torre, as vigas de aço nem sempre são paralelas ou ortogonais. A armação foi feita de modo que não foram necessárias vigas de bordo adicionais. Com a otimização do processo facilitada pelo computador, o orçamento para estrutura metálica ficou 18% abaixo do orçamento (Lindsey, 2001). Ao final do processo, 18 estações de trabalho com Catia estavam dedicadas exclusivamente a esse projeto.

Figuras 3.12: Guggenheim de Bilbao em construção (El Croquis, 1995)



As vigas de aço pré-fabricadas foram aparafusadas umas às outras. Sobre a armação de aço, foram adicionadas duas malhas de aço para compor a estrutura que suporta o revestimento. A primeira é formada por tubos de 60 mm de espessura delineiam as curvas horizontais. A segunda, constituída de caibros de baixo calibre, é armada em ângulo com a primeira acompanhando a curvatura vertical. As malhas foram conectadas com juntas ajustáveis. As juntas permitiram o movimento entre as malhas necessário para acomodar a pele de titânio do revestimento. Todas as peças de titânio encomendadas eram planas e 80% delas tinham apenas quatro tamanhos diferentes (Lindsey, 2001).

⁶⁴ Software CAM.

Apesar de grande parte dos componentes pré-fabricados do edifício fossem adaptados à fabricação com máquinas de controle numérico (CNC) somente o revestimento em pedra foi cortado com essa tecnologia. As pedras calcárias espanholas foram cortadas no canteiro com essas máquinas.

Os designers de Gehry costumam brincar que Bilbao foi construído sem nenhuma trena (Lindsey, 2001). Cada componente do modelo de Catia recebeu um código de barras que determinava os nós de intersecção com a estrutura das camadas adjacentes. Durante a montagem no local, os códigos serviram para revelar as coordenadas de cada peça do modelo de *Catia*. Equipamentos de inspeção a laser foram ligados ao Catia para garantir que cada peça seria precisamente alocada na sua posição, tal como definida pelo modelo computacional. Essa prática é comum nas indústrias automobilística e aeronáutica. Apesar das formas retorcidas e do aparente excesso, “não há mais material no projeto de Bilbao do que teria sido em qualquer edifício retangular de aproximadamente o mesmo tamanho.” (El Croquis, 1995).

3.2.3 Adaptação ao gestual

Glymph foi enfático em afirmar que para a escolha da ferramenta digital que seria introduzida no escritório foi pesquisada aquela que melhor se ajustaria aos processos de design de Gehry, afetando-o o mínimo possível (in Kolarevic, 2003). Nesse sentido, as ferramentas digitais foram adaptadas à metodologia de projeto que já era utilizada por Gehry antes da introdução dos computadores. No entanto, Bruce Lindsey observa que algo mudou no processo de projeto:

“Apesar dos esforços contrários, a introdução de ferramentas digitais alterou o processo de Gehry. Elas também mudaram a sua arquitetura. Gehry já havia ganhado o Prêmio Pritzker em 1989, sem a ajuda de computadores quando Jim Glymph e Rick Smith se juntaram ao escritório. Depois que se juntaram a ele, e com a ajuda de outras pessoas (...) projetaram e construíram o Museu Guggenheim em Bilbao, Espanha; um edifício anunciado como o edifício mais importante do século. Ele provavelmente teria sido uma construção diferente, sem o uso de ferramentas digitais. Talvez um que não foi tão rápido, não movesse, e que não mudasse” (Lindsey, 2001).

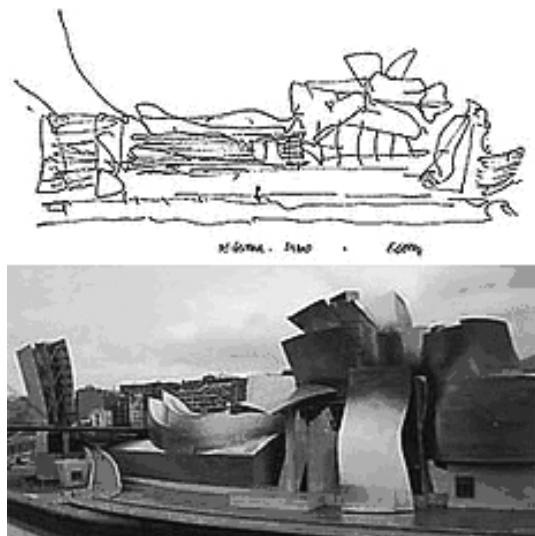
Os desenhos de Gehry são o partido do projeto ou o argumento projetivo. Juntos, todas as maquetes e desenhos são empregados para capturar o gesto inicial de Gehry em escalas maiores, diferentes mídias e materiais. Junto com a crescente complexidade de seus projetos, cresceram também o uso de maquetes físicas para o desenvolvimento de seus trabalhos e a importância dos croquis peculiares, cheios de curvas emaranhadas. Para o

Museu de Bilbao, os *sketches* de Gehry foram feitos no local. O próprio arquiteto se diz admirado com a precisão na descrição das formas contidas nesses desenhos iniciais e o edifício completo, seis anos mais tarde.

O computador é utilizado para dar vazão às idéias já preconcebidas na cabeça do arquiteto e não como estratégia de *geração da forma*, como outros arquitetos digitais. Por outro lado, o projeto é trabalhado em três dimensões desde as etapas iniciais de concepção. Essa prática já era vigente no escritório mesmo antes da inclusão dos computadores no processo de projeto. Maquetes físicas e, mais recentemente, modelos digitais são artefatos de estudo do projeto. Não são reservados somente para a representação final do edifício, como na maior parte dos escritórios de arquitetura. Segundo um dos sócios de Gehry, Jim Ghymph:

“A diferença para os outros arquitetos que utilizam programas de representação e de animação para transmitir as idéias aos clientes, nós começamos com essa etapa vencida, assim, as únicas aplicações que nos interessavam eram aquelas que ajudavam os fabricantes e contratados para produzir o trabalho mais barato e mais eficiente. Era o puro exercício de como executar os desenhos que estavam sendo feitos e isso nos conduziu à aproximação singular do que na realidade era o projeto de um edifício. Descobrimos que os fabricantes podiam utilizar de maneira muito mais eficiente a informação que nós transmitíamos do que em qualquer outra forma de documentação tradicional” (El Croquis, 1995).

Figura 3.13: Museu Guggenheim. Croqui e edifício construído. (Van Bruggen, 1997)



Mesmo assim, é possível que a liberdade formal e a possibilidade de construção de formas complexas ofertada pelo uso de computadores tenham influenciado os desenhos de Gehry. Seus projetos posteriores à experiência de Bilbao possuem formas até mais ousadas. Sabendo que as formas complexas poderiam ser domadas pelo software Catia, Gehry estendeu a liberdade formal nos seus desenhos também. Do desenho ao modelo e do modelo ao edifício: a grande capacidade de materializar seus desenhos com precisão Gehry acredita que sua maior contribuição para a arquitetura é a inovação no método construtivo:

"Se eu tivesse que dizer qual é a minha maior contribuição para a prática da arquitetura, eu diria que é a realização da coordenação ‘mão-a-olho’⁶⁵. Isso significa que eu me tornei muito bom em executar a construção de uma imagem ou uma forma que eu estou procurando. Eu acho que é a minha melhor habilidade como arquiteto. Eu sou capaz de transferir um esboço em um modelo e em um prédio" (Lindsey, 2001).

3.2.4 O papel das maquetes físicas

A prática de Gehry é freqüentemente associada à tecnologia digital de ponta e processos de fabricação com CAD/ CAM. Mas na realidade, o que melhor caracteriza o processo de projeto de Gehry é o extenso uso de objetos físicos como principais ferramentas no estudo da forma pretendida. A prática do escritório dá grande ênfase ao desenvolvimento de maquetes físicas, protótipos em escala real e outros artefatos físicos que podem ajudar no entendimento e desenvolvimento da intenção de design arquitetônico. Esses artefatos incluem numerosas maquetes de estudo. Segundo Glymph:

"Escritórios de arquitetura típicos reservam as maquetes físicas para a apresentação final. No escritório de Gehry, as maquetes usadas no processo conceitivo são construídas, reconstruídas, derrubadas e reconstruídas novamente. Depois, outra é feita. As maquetes testam possibilidades de materiais, arranjos formais baseados nas configurações do modelo digital, e freqüentemente são tomadas direções completamente novas (...). As maquetes acumuladas em volta dos designers são como manifestações físicas de um tipo de batalha mental em curso" (Lindsey, 2001).

Geralmente, o processo conceitivo de Gehry começa com maquetes de estudo grosseiras, em forma de cubos que representam a escala escolhida. Por exemplo, os estudos formais para o projeto do complexo de escritórios *Derem Neue Zollhof*, em Düsseldorf, Alemanha, foram iniciados com módulos de caixas de madeira cada qual representando 500m² em escala. Gehry empilhou os caixas completando o estudo de massas com o total do projeto: 30.000 m². A mesma metodologia foi utilizada para desenvolver o Guggenheim. As maquetes também foram utilizadas para estudar composições espaciais internas.

As maquetes de trabalho de Gehry são abstratas e realizadas com técnicas de colagem, destinadas a estimular a imaginação do arquiteto. Suas maquetes possuem o aspecto de terem sido produzidas rapidamente, mais próximas da função de um croqui rápido do que de

⁶⁵ No original em Inglês: "hand-to-eye".

apresentar o projeto ao cliente. As numerosas maquetes usadas para explorar diversos arranjos compositivos são cuidadosamente documentadas em fotos tiradas por membros da equipe e pelo fotógrafo profissional oficial da casa, Whit Preston (Shelden, 2002). O processo evolui através de numerosas maquetes modulares e desenhos. Enquanto algumas são utilizadas, outras do mesmo projeto são guardadas inacabadas, documentadas com fotos. Servem como gravações das intenções de design em estágios significativos do processo. O estado inacabado permite sugestões ou novas direções de desenvolvimento. O poder desse processo reside em parte na ambigüidade presente na multiplicidade de representações físicas da forma (Shelden, 2002).

Figura 3.14: Maquete de estudo do espaço interno do Museu Guggenheim de Bilbao. (Van Bruggen, 1997)



A interação perfeita entre mídia analógica e digital é considerada por Dennis Shelden (2002) o sucesso do escritório. O coração desse processo é a afinidade entre as intenções formais de Gehry encarnadas na série de maquetes de estudo e o uso coerente de representações digitais. O computador só entra em cena quando é

apropriado. É utilizado basicamente para representar o que foi projetado em maquetes físicas. A descrição digital dos objetos é a ‘cola’ que junta a as representações físicas e documenta a sua conversão. Nos modelos digitais são ajustadas as interferências, as mudanças de escala e as decisões de construção. Os modelos digitais substituem totalmente as representações convencionais em duas dimensões – planta, corte, fachada e detalhes.

Segundo Glymph, no entanto, “seria um grave erro pensar que o computador poderia substituir por completo maquetes e desenhos” (Mills, 2007). O computador é **uma parte** importante do processo. Por outro lado, somente o uso de maquetes físicas não seria suficiente para garantir que os objetos pudessem ser construídos. Depois das

experiências do Peixe de Barcelona e do Museu de Bilbao, o escritório foi equipado com diversas tecnologias digitais que permitiram a libertação das limitações impostas pelas maquetes tradicionais. O *feedback* dos modelos digitais implicou na evolução das formas expressionistas realizadas com técnicas de colagem, e sua tradução em propostas com viabilidade construtiva (Dollens, 2002). Para atingir esse objetivo, outras regras balizadoras foram desenvolvidas, diretamente relacionadas às propriedades dos materiais e à estratégia de construção do objeto. Um exemplo dessas regras é uso de materiais na maquete que simulam o material que será utilizado na construção (Shelden, 2002). A introdução do *Catia* no processo fez com que esse tipo de informação das maquetes pudesse ser ‘lida’ pelo computador.

Depois de Bilbao, o processo de projeto associado ao computador foi aperfeiçoado. Como foi visto anteriormente, em Bilbao o computador foi empregado somente nas fases finais do projeto, quando ele já estava plenamente desenvolvido por meio de maquetes físicas. Em projetos mais recentes, a influência do computador foi mais enfática (Lindsey, 2001). Ao capturar as superfícies no *Catia* em estágios menos avançados, o modelo digital pode ser facilmente seccionado para produzir gabaritos como referência para a confecção das maquetes de estudo. As curvas produzidas são testadas por maquetes confeccionadas de folhas de isopor empilhadas e cortadas. Também foram experimentadas técnicas de prototipagem rápida, onde partes dos modelos eram conectadas diretamente à máquina CNC. De todas as maneiras a única produção em papel envolvida no processo conceptivo são os desenhos de Frank Gehry. Como as técnicas de prototipagem rápida são caras e demoradas, a equipe as reserva somente para a etapa final de verificação. O modelo mestre digital completo, chamado de “modelo de verificação⁶⁶” (Lindsey, 2001), é fabricado com técnica LOM⁶⁷, em máquinas de corte a laser. Esse método conceptivo que funde mídias tradicionais – maquetes físicas e desenhos – com mídias digitais – modelos eletrônicos, máquinas CNC – foi batizado de **processos híbridos** por Peter Zellner (1999). Esse processo combina a precisão de modelos digitais com o *feedback* tátil do trabalho com maquetes físicas.

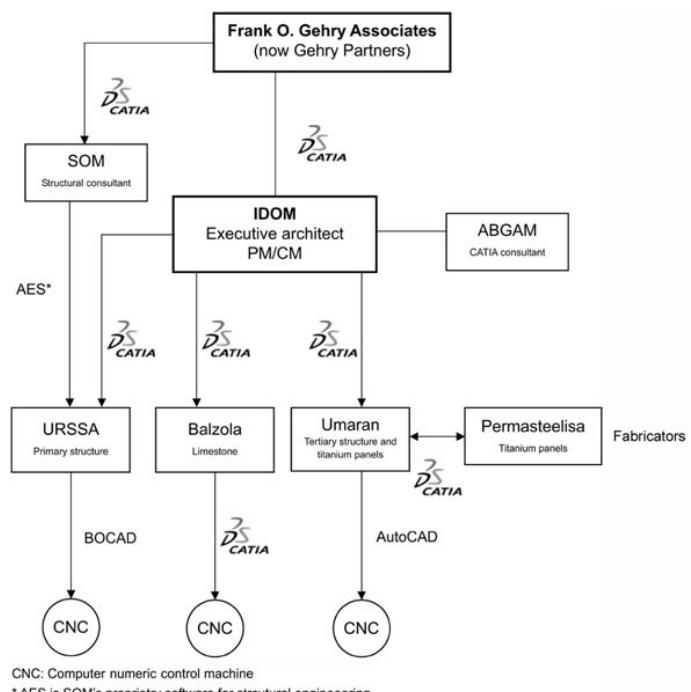
No processo conceptivo de Gehry, dificilmente o computador suplantará as maquetes físicas. Gehry projeta todos os seus edifícios. Somente dois sócios além de Gehry participam do processo conceptivo com maquetes, Edwin Chan e Craig Webb. Os demais

⁶⁶ No original, “check model” (Lindsey, 2001).

⁶⁷ Técnica chamada de LOM – Laminated Object Manufacturing. EmPortuguês, fabricação de objetos laminados.

membros da equipe são técnicos e administrativos. São oito sócios ao todo, inclusive Gehry. Jim Glymph é um dos sócios sênior. A organização da equipe de Gehry na concepção do Museu de Bilbao foi ilustrada em artigo do arquiteto Shiro Matsushima intitulado *Technology-Mediated Process*, apresentado ao Congresso Internacional da ACADIA⁶⁸ em 2004.

Figura 3.15: Organização do fluxo de informação do projeto do Museu Guggenheim de Bilbao. (Matsushima, 2004)



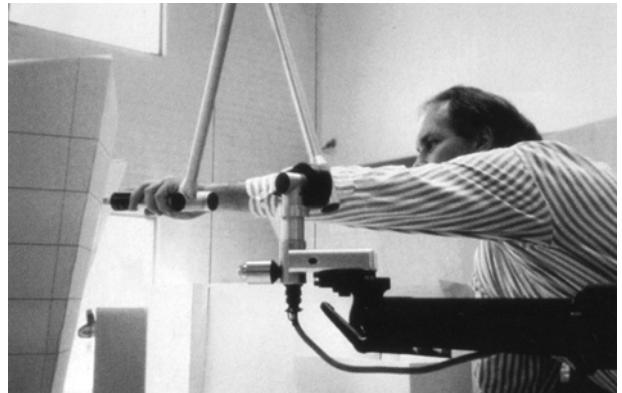
3.2.5 Digitalizando

Para transferir os dados da maquete física para o computador no projeto de Bilbao, a equipe utilizou o **Faro Digitalizer**, um digitalizador manual criado para mapear a coluna vertebral em preparações cirúrgicas. O aspecto do digitalizador é comparável aos pantógrafos do século XIX. O digitalizador produz linhas e curvas que correspondem aos pontos exatos da maquete. A correspondência de pontos entre a maquete física e o modelo digital é fundamental para gerar a superfície-base que sofrerá o processo de modelagem como se fosse uma escultura.

⁶⁸ ACADIA – Association for Computer Aided Design in Architecture.

A equipe desenvolveu três métodos de digitalização. O primeiro envolve o desenho de linhas-guia do modelo em intervalos iguais, numa espécie de tradução da maquete em um modelo topográfico. Depois essas linhas são traçadas com o digitalizador. O segundo começa com a locação dos pontos extremos do modelo que depois são interpolados para compor as curvas. Se a superfície for desenvolvível, ou seja, se ela puder ser planificada sem compressão ou extensão, as linhas podem ser traçadas. No terceiro método as curvas são traçadas a partir de uma malha superposta à maquete. Os pontos de interseção da malha são digitalizados.

Figura 3.16: Digitalização do Walt Disney Concert Hall (Kolarevic, 2003)



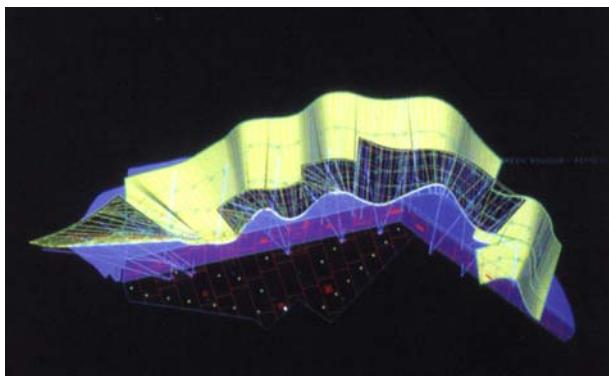
Faro Digitalizer: Disponível em <http://scientificanalysisinc.com/wp-content/uploads/2008/10/platinum-arm.jpg>. Acesso em 15/06/2009.

De acordo com a complexidade das formas da maquete, um método é escolhido ou todos são empregados. Ocionalmente, técnicas e máquinas ainda mais elaboradas podem ser empregadas. Para o projeto do *Disney Concert Hall*, por exemplo, a maquete da fonte em forma de flor foi digitalizada com o scanner 3D **CAT⁶⁹ Scan**. Por conta da complexidade da forma, o braço digitalizador *Faro* não seria totalmente eficiente na transferência perfeita dos contornos das pétalas. A máquina pertence à Universidade de Los Angeles e é comumente usada para produzir seções precisas e detalhadas do cérebro, a partir da emissão rotativa de raios-x. As seções seqüenciais são transferidas para um software de edição de imagens e combinadas para formar o modelo digital em 3D (Lindsey, 2001).

⁶⁹ CAT – Computed Axial Tomography.

Depois que os pontos que descrevem as curvas são transferidos para o modelo digital, inicia-se o processo de criar as superfícies pela coincidência de pontos. Nesse laborioso processo, a composição das curvas das superfícies devem ser corrigidas para que a forma ‘feche’, ou em linguagem de modelagem, para que se torne um “objeto bem formado” (Lindsey, 2001). Isso requer conhecimentos de descrição de planos em geometria não-Euclidiana. Esse processo feito no software *Catia* era dominado somente por engenheiros aeronáuticos, com larga experiência em modelagem de superfícies. Depois que o software se tornou mais barato e mais amigável, o número de arquitetos dentro do próprio escritório de Gehry que utilizam o programa cresceu. O processamento das informações da digitalização é chamado por Dennis Shelden, de *advanced surfacing*:

Figura 3.17: Aspecto da curva digitalizada (Lindsey, 2001)



“Você tem essa maquete física bagunçada com pedaços de papel e outras coisas saindo dela. E então você tem o mundo de construção bagunçado, onde há de concreto, e entulho, e está chovendo, então em algum lugar intermediário está o processo do computador, dando um descanso ao incorporar técnicas de análise e considerações econômicas, todos tentando manter em prumo este processo muito livre e louco. É isso que é realmente de mais...” (Lindsey, 2001).

Geralmente, três modelos digitais são produzidos: um com a superfície externa (surface model); outro contendo a geometria da forma em *wireframe*, o qual comumente descreve a organização da malha estrutural e o terceiro com a superfície interna. Quando necessário, o modelo da superfície é utilizado no desenvolvimento dos padrões das peças que compõem o design da superfície. O modelo da superfície em geometria *wireframe* gerado no *Catia* torna-se a matriz do projeto, a fonte de informação primária com todos os dados necessários para a construção do edifício.

A superfície é redesenhada com nurbs. O resultado é um ‘croqui’ da geometria, muito longe da forma final. A superfície gerada serve como base e sofre extensos refinamentos para ser transformada em uma forma passível de ser construída. A verificação das etapas de refinamento é feita com pequenos protótipos físicos de partes da superfície, construídos ao

longo do processo.

3.2.6 Digital Master Model (Modelo Mestre Digital) ou BIM (building information modeling)

O método de desenvolver o projeto sobre um único modelo digital foi chamado de “modelo mestre digital”⁷⁰ (Lindsey, 2001). A representação do projeto por meio do modelo mestre, comumente chamado de BIM⁷¹ difere substancialmente do método convencional, baseado em projeções dos contornos dos edifícios. No método tradicional, chamado de *método projetivo* (Perez-Gomez e Pelletier, 2000⁷²), o objeto arquitetônico sofre duas reduções: a primeira em função da redução em escala e a segunda pela desagregação das informações completas dos objetos. Isso significa que o edifício é representado em partes e não no todo. Por exemplo, as plantas de um edifício de três pavimentos são representadas em desenhos diferentes. Em corte, aparecem empilhadas, mas, novamente o corte é uma informação desagregada da planta, ou seja, é um desenho diferente.

No caso de superfícies mais complexas, o método projetivo tradicional não é suficiente para descrever superfícies com dupla curvatura. Um elemento simples de projeto, como por exemplo, um caibro tubular, em função da curvatura da superfície que ele sustenta pode acabar parecendo distorcido se representado convencionalmente. Por conta de tipo de disparidade na representação, elementos simples podem parecer complexos.

Na maior parte das vezes, a impossibilidade de representar corretamente implica na impossibilidade de construção fidedigna. A partir do momento em que as formas de Gehry atingiram determinado ponto de complexidade, a descrição geométrica das curvas só se tornou possível com a descrição da própria forma inteiramente. Através dos modelos digitais de informação construtiva – BIM – é possível representar objetos arquitetônicos de modo ‘não projetivo’, ou seja, por meio da representação de objetos inteiros, onde todas as relações entre as partes do edifício podem ser visualizadas de maneira holística. Os modelos digitais construídos com essa finalidade são representações literais do objeto arquitetônico. Não são artefatos interpretativos como desenhos de cortes, plantas e fachadas sugerem. Assim, “a razão essencial para a adaptação de Gehry de ferramentas digitais foi a dificuldade cada vez maior em descrever os projetos inovadores para o

⁷⁰ No original, digital master model (Lindsey, 2001).

⁷¹ BIM – Building Information Modeling. Sugere-se a tradução literal como ‘modelo digital de informação construtiva’, também referidos como ‘modelos BIM’ nesta dissertação.

⁷² Ver Capítulo 1 dessa dissertação.

construtor. Suas formas tridimensionais complexas, quando representadas tradicionalmente em planos, seções e detalhes em duas dimensões pareciam ser ainda mais complexas.” (Lindsey, 2001).

O ‘modelo de informações construtivas’ pode ser definido como “a simulação do projeto que consiste em os modelos tridimensionais dos componentes do projeto com links para todas as informações necessárias relacionadas com o planejamento do projeto, bem como sua construção ou operação e desmantelamento” (Kymmel, 2008). A técnica de representação por modelos BIM consiste na confecção de um único modelo digital que serve como referência para todos os profissionais envolvidos no projeto. Esse modelo digital converge todas as informações necessárias para a construção completa do edifício. Os documentos extremamente confiáveis refletem a compreensão profunda dos métodos e restrições do processo de construção (Shelden, 2002). Por esta razão, são considerados a chave para descrever precisamente todos os componentes do edifício dentro da linguagem convencional da indústria da construção civil.

Em arquiteturas complexas como os projetos de Gehry, a técnica BIM é condição *sine qua non* para a construção. Como disse Kolarevic (2005), “o modelo digital que liga projeto à construção é a condição básica para a execução das arquiteturas de forma livre”, através do sistema chamado de “file-to-factory” (Franken in Kolarevic, 2003). Nesse sistema, os arquivos digitais com os componentes dos objetos são descarregados diretamente em máquinas de controle numérico (CNC) que cortaram as peças a laser. Desde o processo conceptivo até os documentos básicos para a execução não precisam ser apresentados em papel. Em outras palavras, a mídia pode ser totalmente digital, não envolvendo o papel em nenhuma etapa. Por isso essa técnica também é chamada de “paperless design building process” (Barki, 2000).

Figura 3.18: Equivalência entre mídias de representação (Shelden, 2002)

O primeiro modelo corresponde à maquete de estudo digitalizada; no segundo as curvas do modelo já estão ajustadas no Catia; o último é a maquete física produzida com as informações do modelo digital.

A utilização de BIM permite que o arquiteto acompanhe todas as decisões do projeto e do canteiro de perto, constituindo-se como uma poderosa ferramenta de comunicação precisa entre arquiteto, fabricante e construtor. O arquiteto é capaz de expressar os seus desejos em relação ao projeto de forma mais precisa e realista. Por sua vez, engenheiros estruturais, fabricantes e construtores informam requisitos técnicos, informações de custos até a fase de fabricação dos componentes do edifício, tudo sobre a mesma plataforma de informação. Além disso, a técnica permite o desenvolvimento do projeto baseado em componentes da indústria que podem ter suas propriedades totalmente simuladas. Com isso, o desenvolvimento do projeto é feito com base em comportamentos reais dos materiais. Uma vantagem tremenda sobre os métodos projetivos convencionais de representação, já que “os modelos digitais substituem as representações abstratas, fundamentadas na matemática e na geometria descritiva por representações de processos baseados nos métodos de construções físicas” (Shelden, 2002). Outros aspectos relevantes baseados nas observações de Dennis Shelden estão abaixo enumerados:

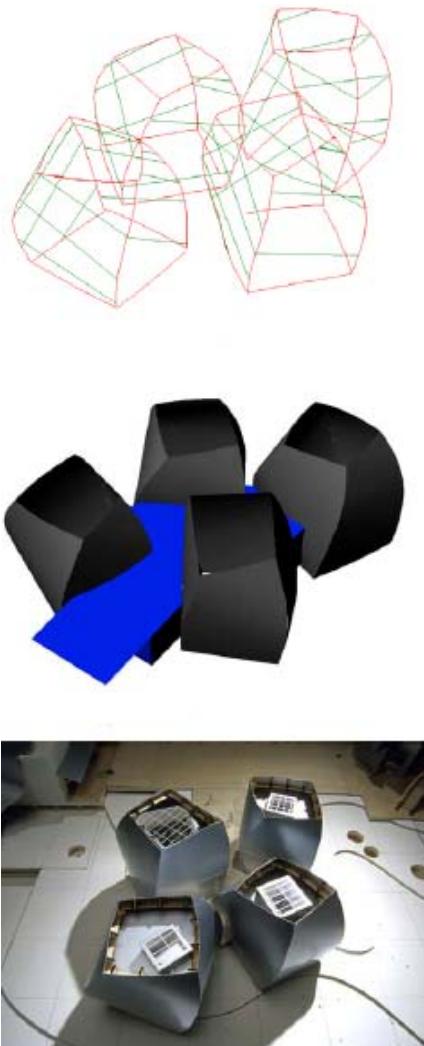
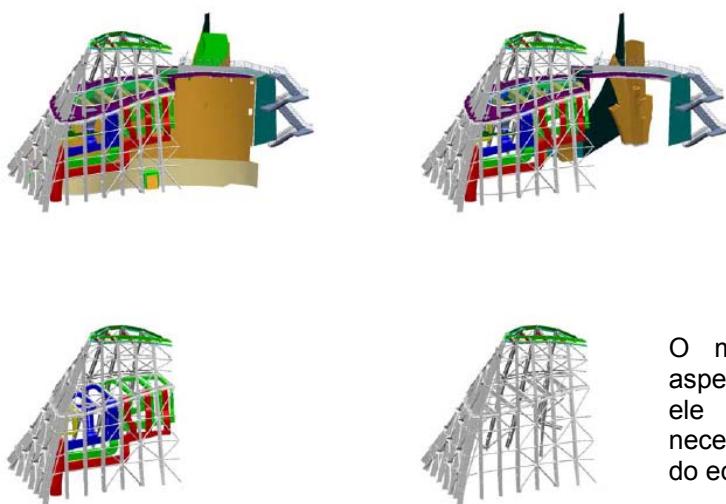


Figura 3.19: Modelo matriz do Experience Music Hall. Gehry Partners (Shelden, 2002)



O modelo mestre integra todos os aspectos da construção. Nesse sentido, ele converge todas as informações necessárias para a construção completa do edifício.

Todas as informações necessárias a todos os profissionais estão contidas no mesmo modelo. Cada profissional se ocupa da parte que lhe cabe e cada alteração na sua disciplina é automaticamente verificada pelos demais. No método tradicional, cada disciplina trabalha em separado e o produto final é um jogo de plantas. Muitas vezes são necessárias muitas horas de desenho adicionais para resolver incompatibilidades entre disciplinas. Em projetos

de grande complexidade como em Bilbao, no qual mais de cem profissionais estavam envolvidos em diversos graus no processo de projeto, o modelo mestre é a ferramenta essencial de auxílio ao gerenciamento de projeto. Isso permite o desenvolvimento do processo de projeto associado ao desenvolvimento de outros sistemas do edifício, como por exemplo, as instalações prediais e estrutura. Graças à visualização holística dos modelos BIM, é possível detectar rapidamente interferências entre encanamentos e estrutura, por exemplo.

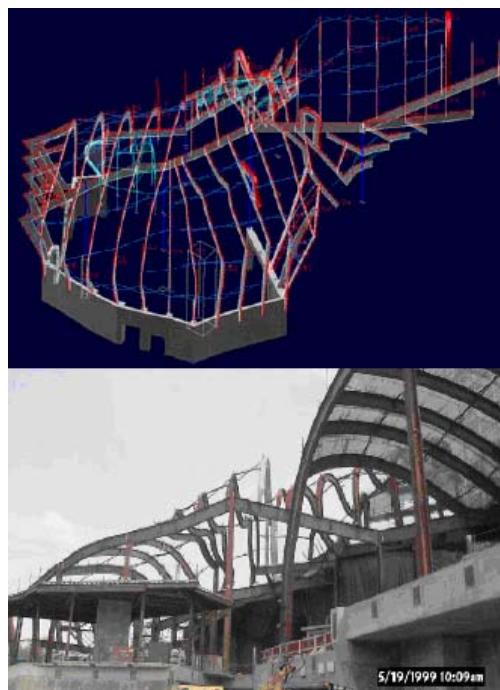
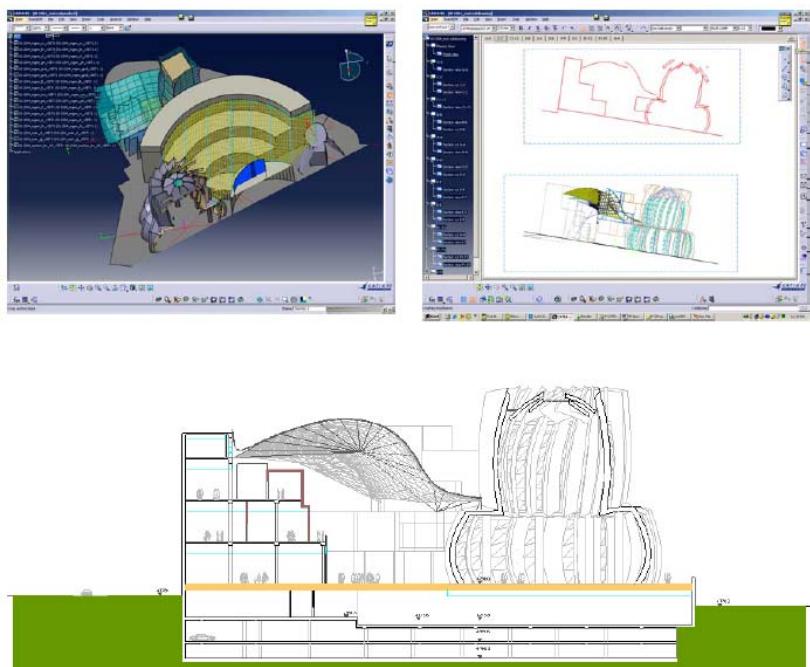


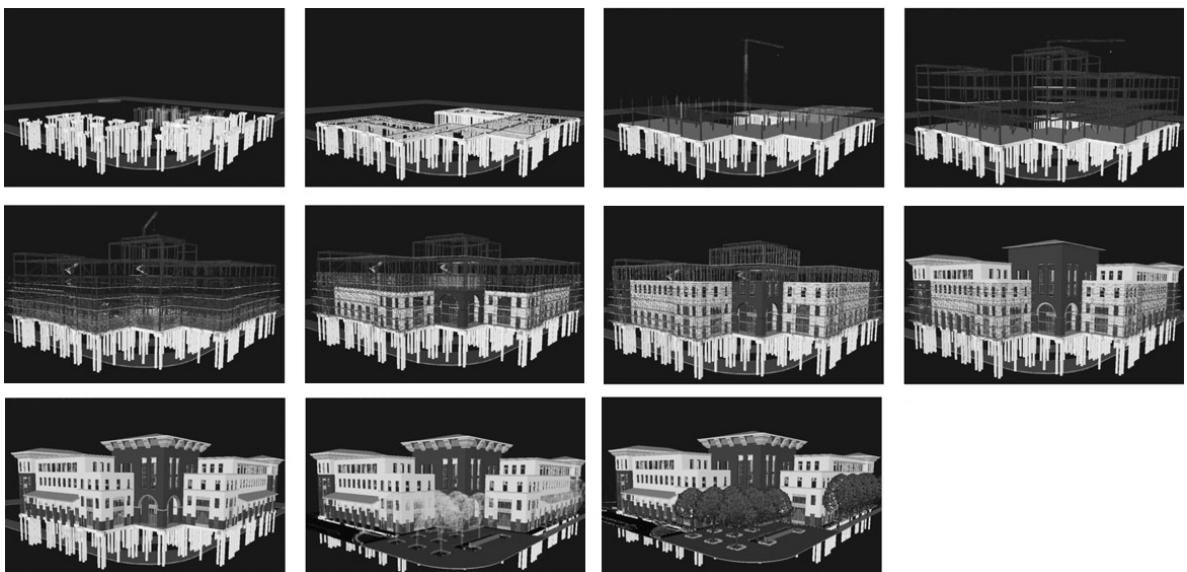
Figura 3.20: Experience Music Hall. Estudo de interferências entre as instalações representadas em azul e a estrutura. Montagem da mesma estrutura (Shelden, 2002)

Figura 3.21: Instituto Winnick Museu da Tolerância, Jerusalém. Extração de corte no Catia (Shelden, 2002)



Permite a extração imediata de plantas, cortes e fachadas para compor a documentação convencional do edifício para registro em órgãos.

Figura 3.22: Simulação das fases de construção de um edifício (Kymmel, 2008)



Propicia a visualização de todas as fases da construção, ao longo do tempo de montagem, também chamada de ‘técnica 4D’.

Quando o potencial representativo e de visualização holística dos modelos BIM são combinados com a possibilidade de controle global da *parametrização*, o modelo digital se torna um artefato de projeto extremamente poderoso. A técnica de descrição paramétrica⁷³ permite que a relação geométrica entre elementos seja codificada no modelo como parte das operações que afetam esses elementos. Por exemplo, quando uma curva é gerada a partir da interseção entre uma superfície e um plano, a natureza dessa curva como a relação geométrica entre a superfície e o plano é retida na descrição digital. Mudanças nos dados de entrada da geometria, como por exemplo, modificando-se a superfície ou movendo-se o plano, deflagram a atualização e regeneração da curva. A inclusão de novas variáveis na descrição da geometria ou a modificação dos valores das variáveis desencadeiam mudanças globais na geometria. Essa técnica de automação da representação fornece a descrição eficiente dos componentes. Do contrário, cada modificação em cada curva ou cada elemento significaria o redesenho de cada um dos objetos atingidos pela modificação.

O *Catia* é o software paramétrico utilizado no *Gehry Partners* que permite a adoção de processos metodológicos onde a geometria dos perfis e dos componentes não seja fixa, mas capaz de sofrer transformações iterativas constantes (Halaby, 2004). O estabelecimento de relações paramétricas entre os elementos dos sistemas do edifício permite que incompatibilidades entre encanamentos e estrutura, por exemplo, sejam rapidamente corrigidas. As modificações são atualizadas instantaneamente em todo o modelo.

O *Catia* permite o uso da técnica de modelagem chamada “*part-in-context*” (Halaby, 2004). Significa que as dependências geométricas são estabelecidas de modo que a modificação em um componente se propague hierarquicamente. A hierarquia é definida em ‘árvore⁷⁴’ de objetos. Cada alteração numa parte da árvore é propagada para os objetos que estão abaixo desse ponto na árvore. Todos os objetos modelados são organizados nas árvores que contém especificações próprias, descritas por equações.

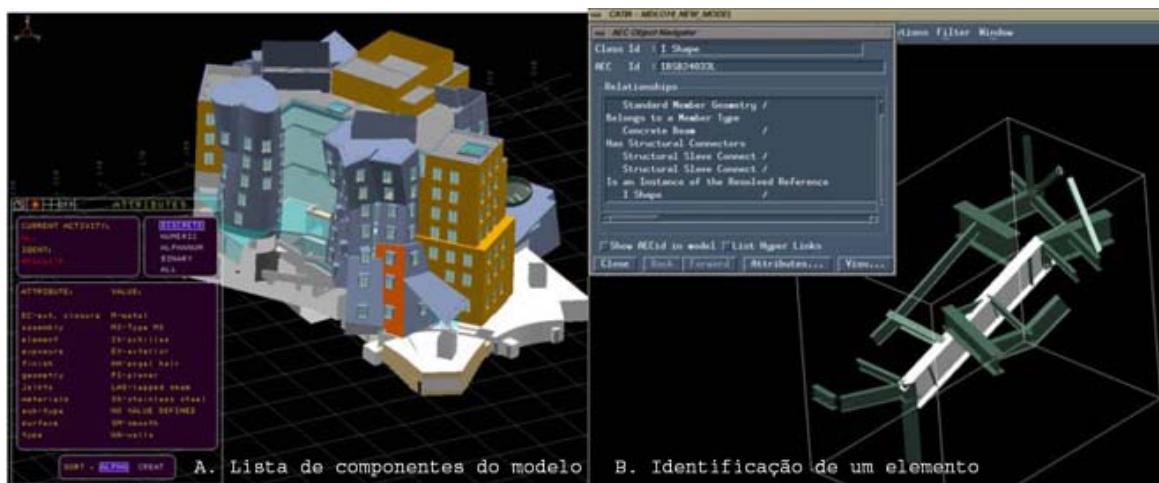
Em teoria, todos os componentes do edifício representados no modelo podem ser relacionados por dependência. Na prática, se isso for feito, o modelo acaba se tornando extremamente complexo, resultando em mensagens de erro incompreensíveis. Além disso,

⁷³ Ver Capítulo 2.

⁷⁴ O termo usado no original é “tree” (Halaby, 2004).

o arquivo pode ficar muito pesado ou simplesmente não funcionar. Por isso, durante a modelagem, é preciso escolher estrategicamente quais dependências entre quais objetos serão estabelecidas. Por conta disso, muitas vezes alguns detalhes dos modelos são omitidos, como portas, maçanetas e elementos similares (Halaby, 2004).

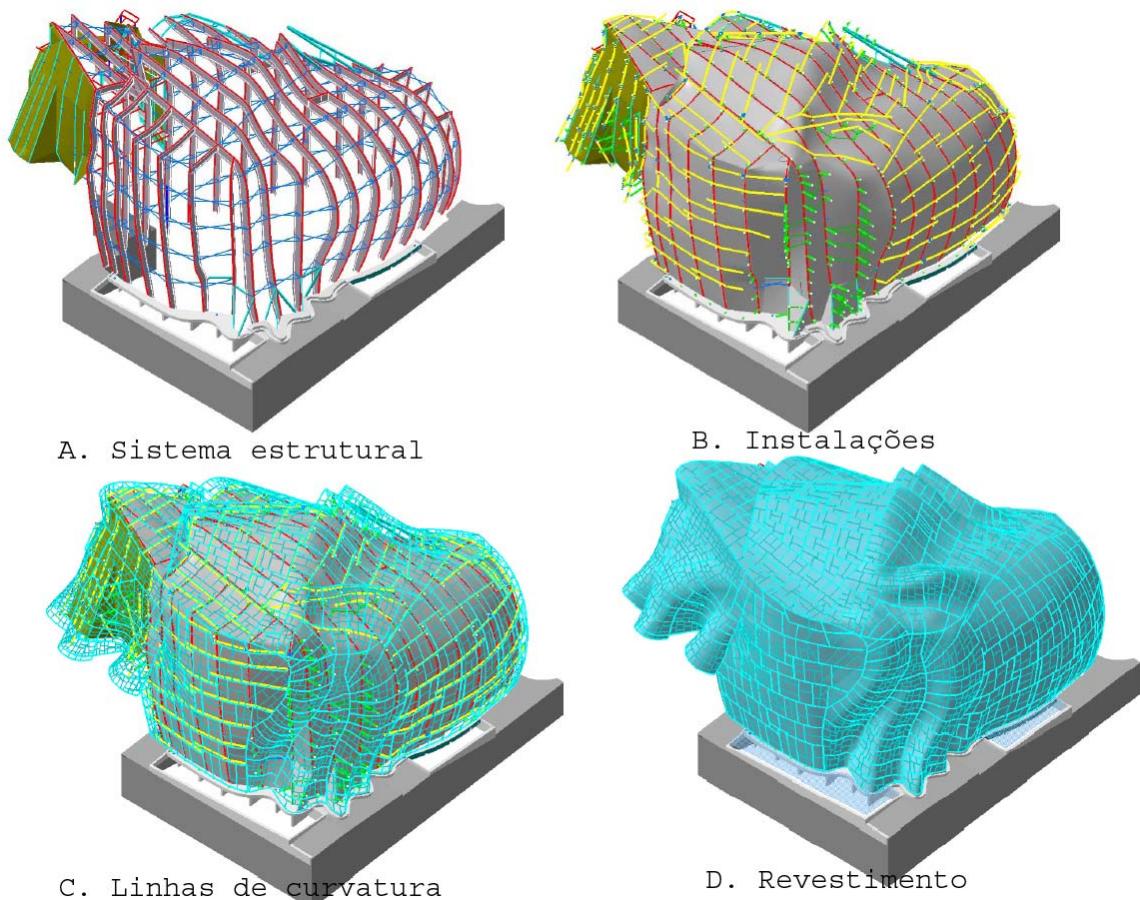
Figura 3.23: Modelo BIM do MIT Stata Center (Shelden, 2002)



Especificação em árvore no Catia: “A modelagem geométrica em Catia é baseada nas características [dos elementos], o que significa que cada ação de modelagem tomada pelo usuário torna-se um objeto embutido em uma árvore de especificações. Qualquer uma das características criadas pelo usuário na árvore pode conter parâmetros que podem ser alteradas a qualquer momento durante o processo. A estrutura em árvore de especificações é muito semelhante à estrutura de arquivos do sistema operacional, com pastas e subpastas que contêm parâmetros e recursos de modelagem. Uma característica de modelagem da árvore pode ser ligada a qualquer outra através de fórmulas, restrições e outras relações geométricas. O Catia permite que múltiplos componentes sejam combinados como em uma montagem (...) - a terminologia claramente originada do domínio do desenho industrial - que contém as referências de partes individuais dos arquivos” (Halaby, 2004).

Alguns software fornecem a oportunidade de mudar informações localmente. Por exemplo, a representação de treliças em um modelo BIM paramétrico permite a edição de uma treliça específica. Cada treliça pode ter sua própria caixa de diálogo que contém informações específicas dos elementos que compõe a treliça. As informações são parametrizadas, ou seja, são inter-relacionadas. A modificação de um parâmetro provoca mudanças globais na peça. As informações paramétricas podem ser físicas, como o comprimento da peça, largura, coeficiente de dilatação, ou de outras naturezas, como por exemplo, o prazo de fabricação ou o custo da peça. Basta a mudança de um desses valores que todo o elemento ‘treliça’ é atualizado (Kymmel, 2008).

Figura 3.24: Modelo BIM de coordenação interdisciplinar (Shelden, 2002)



manipulável em três dimensões permite a visualização sem ambigüidades de todos os componentes do projeto. Segundo Jim Glymph (Lindsey, 2001), arquiteto diretor do escritório de Gehry, no *Museu Guggenheim*, por exemplo, o modelo BIM foi a referência básica para a construção do edifício, apesar de o projeto ter sido executado em grande parte por métodos convencionais. Desenhos tradicionais de plantas, cortes e fachadas foram feitos para cumprir protocolos legais de documentação junto à Prefeitura de Bilbao. Esses desenhos foram extraídos automaticamente do modelo digital.

Segundo Shelden (2002), ao longo dos anos de experiência acumulada, os desenhos fornecidos em duas dimensões têm diminuído ao passo que as informações adicionadas ao modelo mestre têm aumentado. A longa prática possibilita ao escritório fornecer especificações geométricas extremamente detalhadas de determinados sistemas. Apesar disso, a estratégia adotada é “desenhar todas – e somente – as informações necessárias” (Shelden, 2002). Isso significa que os modelos tridimensionais fornecidos pelo escritório

especificam o mínimo de informações, mas contém todas as dimensões necessárias para desenvolver espacialmente os sistemas coordenados de componentes.

Shelden (2002) adverte que, muito embora o modelo mestre seja muito importante como artefato de representação gráfica, ele representa apenas uma parte do processo: “o sucesso da empresa na realização de seus projetos se deve em boa parte ao desenvolvimento de metodologias que integram modelos digitais tridimensionais com desenhos bidimensionais e outras informações convencionais sobre o projeto. As novas tecnologias representam a extensão – não o abandono – de descrições e processos convencionais”. Shelden (2002) lista algumas situações onde eles são empregados. Por exemplo, para cumprir protocolos junto aos órgãos reguladores da construção; na representação de elementos como portas e dobradiças, padrões de azulejos e dispositivos elétricos de banheiros que não são modelados, são tratados e identificados com símbolos ou na representação de elementos que são essencialmente bidimensionais, como acabamentos de piso e plano de corte dos painéis planos. Os detalhes das conexões entre componentes da estrutura também são fornecidos em representação convencional em duas dimensões.

Os desenhos bidimensionais também são usados por razões econômicas. Por exemplo, quando não há recursos econômicos para justificar seu uso, quando o projeto só é viável utilizando-se métodos tradicionais de construção ou quando a localidade não possui meios técnicos para construção de superfícies mais complexas. Em todos esses casos, são entregues os dois tipos de representação: o modelo mestre e os desenhos convencionais em duas dimensões. Como os dois tipos de representação não são diretamente associados, o escritório enfrenta o problema conhecido de refazer os desenhos em duas dimensões em caso de modificações.

A documentação de projetos do escritório permanece nas fases posteriores de desenvolvimento, detalhamento, documentação e construção. Para fazer a interface entre programas, ou seja, para transformar os modelos mestres digitais em desenhos bidimensionais, a equipe utiliza softwares como o **SDS** e o **X-STEEL⁷⁵** (Lindsey, 2001). O **Catia** também permite a exportação de informações em formato compatível com AutoCAD e com 3DStudio Max, para produção de desenhos bidimensionais e apresentações de perspectivas renderizadas (Halaby, 2004). Segundo Ghymph, se esses desenhos fossem

⁷⁵ Utilizado no Disney Concert Hall (Lindsey, 2001).

feitos em mídias digitais tradicionais levaria muitos meses. No caso do *Walt Disney Concert Hall*, por exemplo, a conversão de todos os desenhos levou apenas 3 horas (Lindsey, 2001).

Segundo Shelden, grande parte da vantagem obtida com a adoção desse sistema híbrido de representação é econômica. Por enquanto, quase nenhuma construtora está habilitada a construir a partir de informações totalmente digitais. Quando é possível encontrar uma, os preços dos componentes fabricados por CNC são muito mais altos do que se fossem construídos por métodos tradicionais. Caso necessário, o sistema híbrido de representação admite a permuta entre métodos construtivos convencionais e digitais dentro do mesmo projeto.

Uma das questões que vem a reboque da utilização de informações digitais como forma de representação de projeto é o nível de dados de desenvolvimento apropriado para cada parte no processo de construção. De acordo com Dennis Shelden (2002), apresentar todas as informações do projeto no modelo mestre digital representaria um nível de esforço muito além do suportável, ainda que houvesse a compensação financeira. Além disso, implicaria em certas questões éticas, como por exemplo, o excesso de responsabilidade atribuído à equipe de modeladores. Tal como acontece em escritórios que utilizam somente a documentação convencional, o escritório de Gehry fornece a geometria do projeto como parte dos documentos do contrato de arquitetura. As informações contidas no produto de entrega, isto é, o nível de detalhe geométrico é surpreendentemente reduzido em relação ao total de informações que contém os modelos digitais utilizados de desenvolvimento do projeto. No entanto, a geometria fornecida é suficientemente representativa para garantir o controle correto nominal dimensional para os componentes indicados.

Para ilustrar a questão, Shelden (2002) cita como exemplo os documentos enviados para a construção do *Experience Music Project*. O fornecimento do sistema estrutural via *Gehry Partners* era uma exigência de contrato. O modelo digital enviado informava a localização e o posicionamento dos componentes da estrutura, bem como da fundação de concreto e das paredes que suportavam a estrutura metálica do revestimento. Cada um desses sistemas foi representado de modo distinto de ‘abstração geométrica’, contendo informações suficientes para o posterior detalhamento dos sistemas. A estrutura de concreto foi representada com desenhos bidimensionais convencionais. Já a estrutura metálica curva foi representada por base dual: o modelo digital em *wireframe*, onde havia somente as informações dimensionais para que o fabricante pudesse compreender a quantidade do material necessária e para guiar o posterior detalhamento completo da geometria das vigas; e, as demais informações

representadas em desenhos bidimensionais tradicionais, acompanhadas de especificações em texto. As vigas foram numeradas em ambas os tipos de representação permitindo a referência cruzada entre eles.

3.2.7 Racionalização/ Legitimação

O desenvolvimento do modelo mestre coincide com o que Glymph chama de racionalização e legitimação (Lindsey, 2001). Segundo o arquiteto, a **racionalização** descreve o processo de conversão da maquete física complexa, com todas as suas indeterminações em um modelo digital onde a complexidade geométrica é domada através de equações matemáticas. Em outras palavras, é o método de introduzir no modelo as regras para a construção das formas. Esse processo também tem o efeito de legitimar o “processo louco” (Lindsey, 2001) de desenvolvimento das formas.

A **legitimação** é fruto do exame detalhado do projeto utilizando-se tecnologia digital. Tem como objetivo o controle tridimensional do modelo digital, totalmente dimensionado. Essa etapa é muito importante para validar o orçamento e torná-lo viável. Nos primeiros projetos de maior complexidade formal, as construtoras forneciam orçamentos muito altos porque ficavam inseguras a respeito do método construtivo. A crença de que algo só é tangível se puder ser medido é um dos argumentos mais fortes para se proceder à legitimação. A confiança na capacidade de solucionar as formas de geometria complexa com sistemas complexos e colaborativos entre diversas ferramentas digitais permitiu que as formas dos edifícios de Gehry ficassem cada vez mais livres.

Segundo Shelden (2002), a racionalização é o aspecto principal, o coração do processo escultórico do *Gehry Partners*. Em termos mais específicos, a racionalização é a resolução das regras de construção dentro da geometria do projeto. Esse processo pode ser digital ou analógico, sendo utilizado tanto para projetos simples e ortogonais quanto para curvos e complexos. A tarefa primordial do processo de racionalização é selecionar a representação adequada para criar o sistema espacial de componentes arquitetônicos em congruência com as restrições físicas da construção desses componentes.

Ao longo de toda a história da Arquitetura, a congruência entre representação geométrica e requisitos para construção sempre foi desejável. O problema de ajuste entre intenção formal e viabilidade construtiva não é novo. O exemplo dramático desse tipo de dificuldade foi enfrentado na *Ópera de Sidney*, descrito no Capítulo 2 dessa dissertação. A racionalização

da superfície proposta por Urtzon foi feita com elementos esféricos simples de serem descritos. Muito embora tenha resolvido a superfície, o resultado obtido foi muito diferente da intenção original do arquiteto. Com o advento da modelagem digital, esse tipo de problema passou a ser mais facilmente contornado.

Em alguns casos, como as curvas complexas de Gehry, o computador tem sido o veículo único de solução. A racionalização por meios digitais tem sido empregada no *Gehry Partners* desde o *Museu Guggenheim de Bilbao* para solucionar as regras geométricas de maneira que as curvas extremamente complexas do projeto pudessem ser traduzidas em elementos construtivos. É uma tarefa muito delicada porque as muitas operações realizadas no processo de racionalização têm repercussões diretas nas características formais. Além disso, pode impactar o custo e o controle da construção. Se for conduzido de maneira errada, pode alterar significativamente a intenção de projeto, bem como a viabilidade da construção.

Também faz parte do processo de racionalização o emprego da capacidade das ferramentas computacionais em calcular áreas e volumes necessários para estimativas de custos, chamada de 'engenharia de custos'. Geralmente, essas estimativas são realizadas em paralelo ao desenvolvimento da forma, com base no modelo mestre digital gerado no *Catia*. Não raro resultam em cortes de programa, qualidade, materiais ou curvas mais complexas, logo, mais caras de serem construídas. Nesse sentido, uma das principais motivações da racionalização é econômica, pois se reflete em cada unidade ou componente construtivo dentro do sistema disponível. Em última análise, a racionalização é uma espécie de negociação entre o desejo do arquiteto e as restrições de quaisquer ordens na viabilização do projeto. Segundo a descrição de Bruce Lindsey:

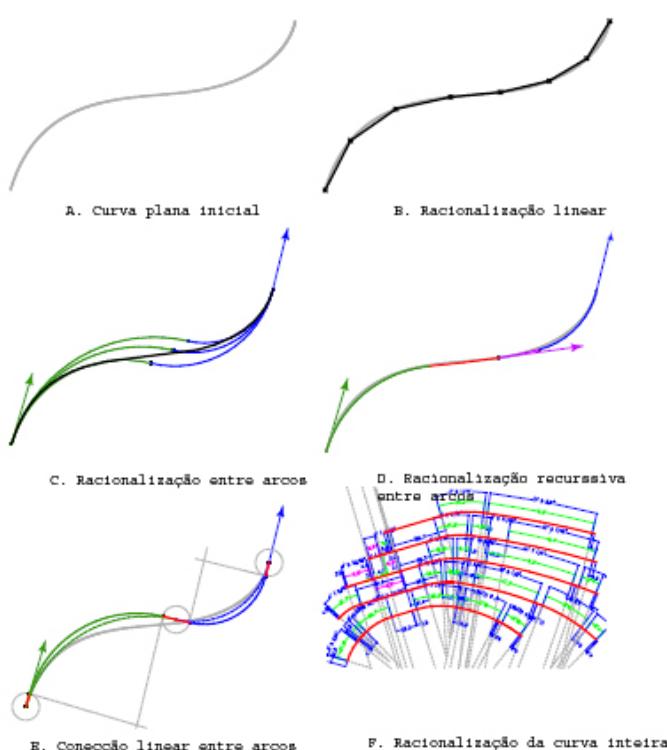
"Este processo envolve a tradução dos elementos arquitetônicos, pele, painéis, vigas, colunas, etc, para a seguinte hierarquia: retas, planos, curvas, superfícies duplamente curvas e empenadas (altamente modeladas), cada um representando custo mais elevado. A tradução continua através da sintaxe que se segue: repetitiva, similar e original, mas uma vez cada uma representando maior custo de fabricação e montagem. Com o custo de fabricação conduzido digitalmente, com base no tempo de máquina e nos custos trabalhistas, peças semelhantes podem ser baratas quanto as partes repetitivas, porque elas representam quantidade similar de tempo. A equipe de projeto usa uma regra que mantém as peças altamente modeladas ao máximo de 5% do total" (Lindsey, 2001).

As restrições são definidas logo nas etapas iniciais, sendo realizada em conjunto com os profissionais de outras disciplinas, como estrutura e instalações prediais. Os materiais devem ser escolhidos também nessa etapa porque seu comportamento deve ser simulado

no modelo mestre. Por exemplo, o titânio⁷⁶ utilizado no *Museu de Bilbao* possui baixíssimo índice de expansão, tem excelentes propriedades de resistência a forças e à corrosão, e não mancha. Sua elasticidade é semelhante à do aço inoxidável. As folhas de titânio podem ser torcidas e soldadas com métodos convencionais aplicados em outros materiais corriqueiros (Zahner, 1995 apud Sebestyen, 2003). Todas essas informações foram consideradas no modelo mestre.

A eficácia desse sistema é garantida em parte pela preservação da equivalência entre restrições do projeto de quaisquer ordens e as restrições correspondentes nas representações físicas e digitais são representadas em paralelo. Tal equivalência é observada nas propriedades dos materiais da maquete física em escala real de construção e na seleção de elementos digitais definidos por construções geométricas específicas. Nesse contexto, a descrição dos objetos por meio de geometria associativa, ou seja, por parametrização, é fundamental porque permite a manipulação da forma de modo heurístico. Conseqüentemente, o ajustamento às restrições construtivas ou econômicas é extremamente facilitado.

Figura 3.25: Métodos de racionalização para curvas planas



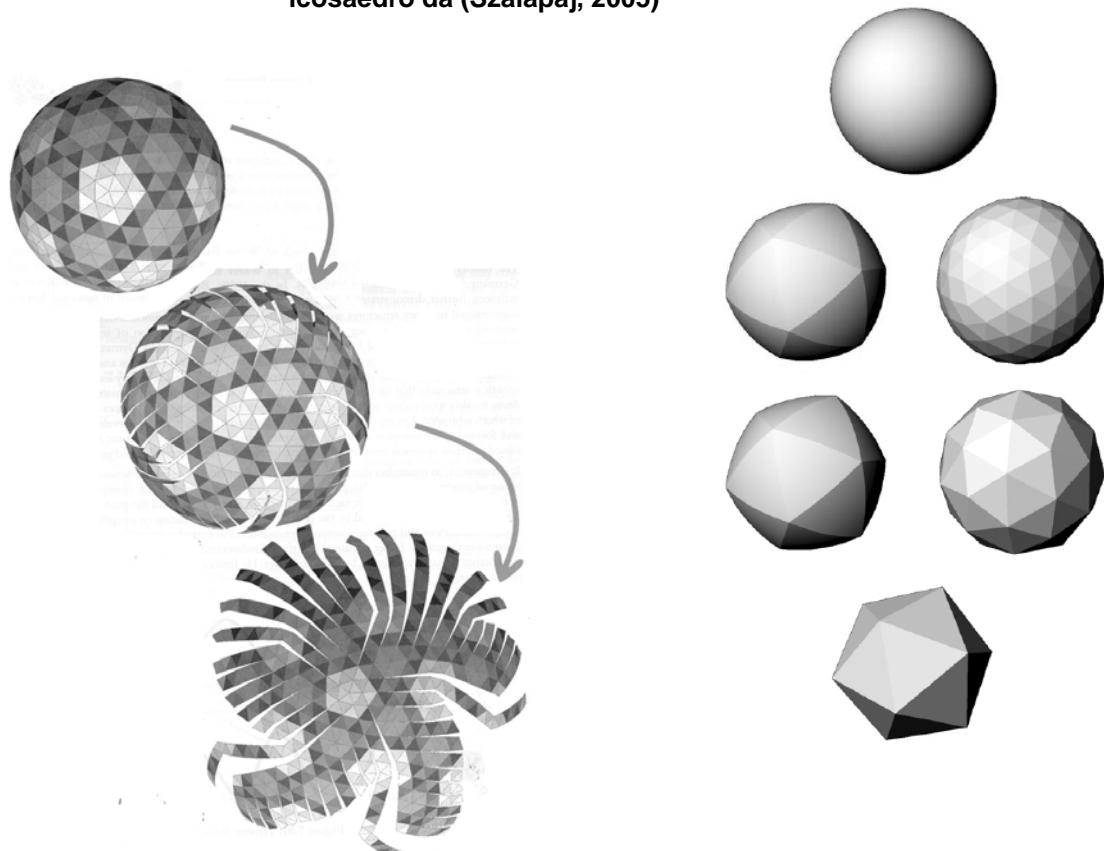
Outro aspecto essencial no processo de racionalização é a escolha correta no modo de representar as curvas. Existem diversas maneiras de representar as superfícies dobradas. Cada uma delas pressupõe a adoção de diferentes táticas de racionalização. A escolha correta leva em consideração a confluência entre as restrições nos planos físico, digital e de

⁷⁶ A título de curiosidade, o Japão foi o primeiro país a usar titânio na construção, seguido dos Estados Unidos (Sebestyen, 2003).

fabricação para definir as classes de superfícies que podem representar e descrever as curvas de maneira mais eficiente. Para o refinamento das curvas nurbs, é necessário seguir uma ‘estratégia de segmentação’, ou seja, o desmembramento das curvas em elementos euclidianos que podem ser linhas, segmentos de arco constantes ou a combinação entre os dois. De acordo com a estratégia adotada, as superfícies curvas podem ser constituídas de chapas planas ou com dupla curvatura. A escolha é feita com base em certos critérios e propósitos que melhor atendam às restrições especificadas. Por exemplo, em função do coeficiente de dilatação do material escolhido, o tamanho de fabricação das chapas utilizadas ou para abrigar algum tipo de emenda ou articulação entre trechos da estrutura.

Figura 3.26: Racionalização da esfera
(Shelden, 2002)

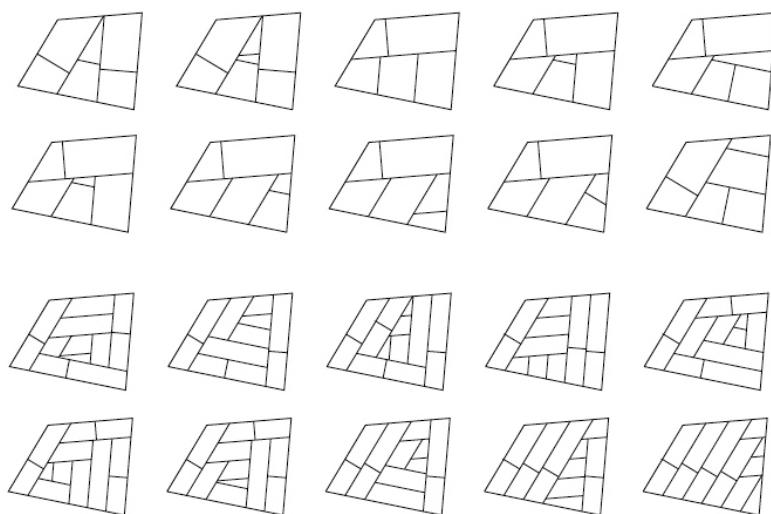
Figura 3.27: Planificação do domo
icosaedro da (Szalapaj, 2005)



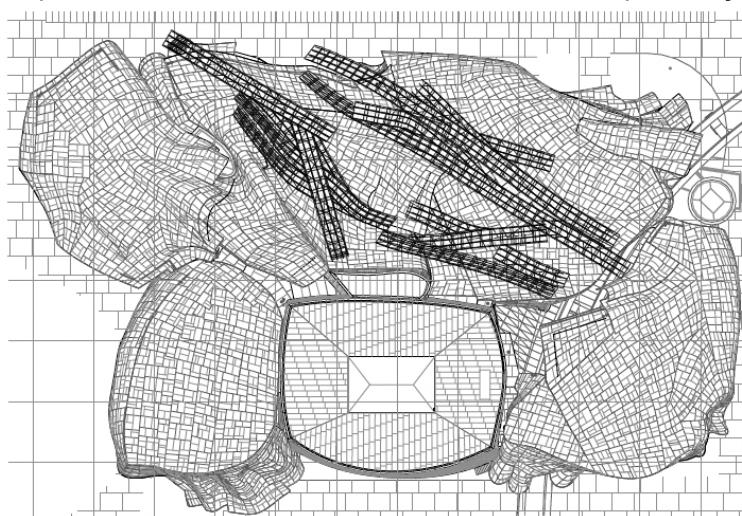
De modo geral, a segmentação produz ângulos entre os segmentos que podem causar torções. A diferença entre curva ideal e os segmentos lineares também pode gerar conflitos com outros sistemas. As consequências desse movimento podem gerar repercuções negativas na forma, alterando o perfil do projeto. O problema pode ser controlado aumentando-se o número de segmentos. Em contrapartida, elevar o número de componentes e conexões pode majorar o custo de fabricação. Uma estratégia alternativa é impor a *continuidade tangencial* entre linhas-guia das superfícies. Diz-se que há continuidade tangencial entre curvas ou superfícies quando as direções das tangentes nos pontos de extremidade das curvas são as mesmas. Entre curvas tangenciais, não há quinas ou torções. Neste caso, os elementos resultantes também são curvos. Em regra, curvar o material é mais barato do que resolver a curvatura com peças planas menores. Mas, às vezes a redução no número de elementos e conexões justifica o uso de peças curvas maiores.

A superfície racionalizada sofre o processo de subdivisão para gerar o corte dos painéis do revestimento. O corte dos painéis evidencia a estratégia de segmentação adotada. A superfície do *Experience Music Project* (1998), em Seattle, por exemplo, tem o aspecto muito mais liso e suave que as superfícies escarpadas do *Museu Guggenheim de Bilbao*. Esse processo, também chamado de **panelização**, pode ser feito por estratégias distintas. No *Experience Music Project* foi usada a técnica de ‘shape grammar’ com algoritmos generativos para dar origem a uma ‘gramática de superfícies’. A técnica consiste em empregar o sistema de algoritmos para gerar composições formais. A gramática é aplicada nas regiões quadrangulares obtidas na subdivisão da superfície racionalizada, originando novas subdivisões. A manipulação dos parâmetros gera inúmeras possibilidades compostivas, a partir das quais pode ser estudado o melhor aproveitamento das folhas do revestimento, considerando o tamanho das chapas do material escolhido.

Figura 3.28: Panelização do Experience Music Project (Shelden, 2002)



Aplicação de algoritmo para testar a divisão de painéis em função das dimensões do material. Primeira sequência, 10 permutações do total de 29 possibilidades de corte. Segunda sequência, considerando folha menor, 10 de 11.941 permutações possíveis.



3.2.8 Análise de desempenho

Em arquiteturas de formas complexas como as de Gehry, o processo de projeto geralmente é colaborativo. Logo nas etapas iniciais, arquitetos, engenheiros e fabricantes são convidados a discutir e decidir em conjunto algumas estratégias importantes que terão rebatimentos significativos no desenvolvimento do projeto. Dentro desse contexto, as análises de desempenho são amplamente empregadas para auxiliar na tomada de decisão. A viabilidade dos projetos recentes de Gehry se deve, em grande medida, à disponibilidade destas abordagens analíticas (Shelden, 2002).

A análise de desempenho é o princípio de projeto que considera alguns parâmetros prioritários ao qual o edifício deve responder (Kolarevic, 2005). Nessa abordagem, o desempenho dos aspectos do edifício submetidos às análises é tão importante quanto a forma. Em estudos mais avançados de arquiteturas digitais, as análises de desempenho podem ser utilizadas como princípios-guia na geração da forma, por meio de sistemas generativos⁷⁷. No caso de Gehry, o *feedback* visual fornecido pelas técnicas de simulação de desempenho tem se tornado cada vez mais eficaz no desenvolvimento de seus projetos. É o importante balizador do processo de racionalização das superfícies, descrito acima.

A aproximação à simulação digital é um importante passo metodológico dentro do modelo de quatro etapas da concepção digital fornecido por Thomas Maver⁷⁸ (apud Kolarevic, 2005): representação, medição, avaliação e modificação. Por meio das simulações dinâmicas de desempenho, o computador se torna uma importante ferramenta de auxílio no processo de tomada de decisão, que é uma das atividades mais relevantes no processo de projeto. Como observou Maver (apud Kolarevic, 2005), "se a representação e os módulos de medição do sistema de projeto podem ser definidos e postos à disposição, então os processos de avaliação e modificações pertinentes ocorrem de forma dinâmica dentro das atividades de projeto como determinantes do, e em resposta ao padrão de pesquisa exploratória".

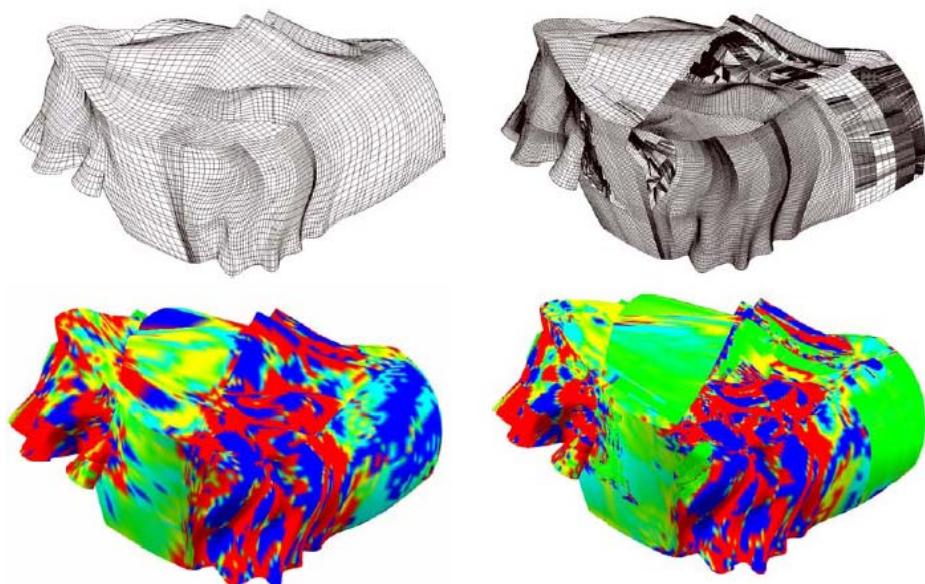
No processo de projeto convencional, quando alguma análise de desempenho é necessária, são construídas maquetes especiais que servem de base para as simulações. Ao longo das últimas décadas, inúmeras técnicas de análise de engenharia com base computacional tornaram-se disponíveis. Atualmente, as análises de desempenho podem ser feitas sobre modelos digitais, facilitando enormemente seu uso. Grande parte deste desenvolvimento se deu por meio da utilização de *análise de elementos finitos* e *técnicas de diferença finita*. Estas técnicas complicadas decompõem as formas geométricas em conjuntos de elementos simplificados. A solução global para a forma é conseguida através da solução simultânea do desempenho de elementos individuais.

⁷⁷ Cf. ver Kolarevic, 2005.

⁷⁸ Representação: o designer gera uma forma hipotética como dados de entrada no computador; Medição: o computador simula o comportamento dessa forma gerando dados de saída com medições de custos e desempenho em número relevante de critérios; Avaliação: o designer, bem como outras partes interessadas, como clientes ou construtores exercem seu juízo de valor; Modificação: são realizadas em função das avaliações sobre a hipótese (Maver, 1980 apud Kolarevic, 2005).

No escritório do Gehry, é utilizada a técnica analítica de desempenho chamada **análise gaussiana**⁷⁹. Essa técnica foi utilizada pela primeira vez no *Museu Guggenheim de Bilbao* para avaliar componentes curvos do modelo, particularmente dos painéis das superfícies. O grau de curvatura associado ao comportamento de um material específico pode ser representado em três dimensões no modelo digital, permitindo a identificação de problemas. Com esse recurso, é possível determinar o grau de curvatura das diferentes áreas da superfície do edifício. A análise pode indicar, por exemplo, se o material escolhido não é capaz de dobrar da maneira desejada, então, as modificações podem ser feitas. Mais importante ainda, a análise prevê o *feedback* rápido e visual sobre o custo global da 'pele' do edifício. As áreas de dupla curvatura, em vermelho, são muito mais caras de fabricar do que as secções de curvatura simples, mostradas em tons de verde e azul. Dessa maneira, os designers podem controlar a porcentagem de peças mais caras e assim controlam o custo. Geralmente as peças de dupla curvatura são mantidas em 5% do total (Lindsey, 2001).

Figura 3.29: Análise gaussiana de uma superfície do Experience Music Project (Shelden, 2002)



A análise gaussiana também foi amplamente empregada no projeto do *Experience Music Projec*, em Seattle. O fabricante escolhido para fornecer as folhas de metal utilizadas no revestimento, a *Zahner ; Company* (AZCO) foi chamado para compor o time de projeto logo nas fases iniciais de desenvolvimento. As formas do edifício tiveram que ser reinterpretadas

⁷⁹ Karl Friedrich Gauss (1777-1855), físico e matemático alemão.

em função das possibilidades de fabricação das folhas de metal. Os modelos no Catia tiveram que ser readaptados e muitos trechos de dupla curvatura tiveram que ser removidos para adequação ao orçamento. Como os sistemas de controle heurístico ainda eram muito insipientes, a equipe dividiu as superfícies em dois tipos: *superfícies típicas*, construídas com folhas planas, ficando sujeitas às limitações do material e as *superfícies altamente modeladas*⁸⁰ que requeriam procedimentos mais elaborados para curvar as folhas (Shelden, 2002).

As análises gaussianas foram utilizadas para determinar os limites de curvatura de cada tipo de superfície. Os testes eram acompanhados de moldes das chapas em escala para simular fisicamente o comportamento do material. Três categorias de condições de superfícies foram testadas: convexa⁸¹, correspondente à curvatura positiva; a côncava⁸² e a curvatura com aspecto de ‘sela’⁸³, representando a curvatura negativa. A distinção entre as duas curvas côncavas e convexas era essencial porque, segundo a AZCO, é mais difícil de forçar as folhas de metal para gerar superfícies côncavas (Shelden, 2002).

Utilizando-se essa análise como balizador, os modeladores começaram a racionalização das superfícies em conformidade com os resultados da análise gaussiana. A equipe digitalizou as curvas principais da nova maquete física que continha os novos painéis ajustados e projetou essas novas curvas sobre o modelo existente no Catia. As novas curvas digitalizadas serviram de guia para redefinir a continuidade das tangentes no processo de redução das curvaturas onde era necessário. Esse processo foi essencial para definir a estratégia de construção, em quais trechos de superfícies típicas onde seriam usadas folhas planas curvadas e quais trechos levariam peças de dupla curvatura (Shelden, 2002).

Muito embora a superfície gaussiana seja um grande instrumento para prever a ‘construtibilidade’ das superfícies de formas complexas, existem certas limitações. Segundo Shelden (2002), a análise gaussiana cumpriu sua função com alguns problemas. O sistema de superfícies típicas se comportou conforme o esperado, mas o sistema de superfícies altamente modeladas apresentou inconsistências. Isso pode ser creditado ao fato de que as adaptações das curvas do modelo às restrições lidas na análise gaussiana eram feitas à

80 No original em Inglês: “highly shaped areas” (Shelden, 2002).

81 No original em Inglês: “dome condition” (Shelden, 2002).

82 No original em Inglês: “bowl condition” (Shelden, 2002).

83 No original em Inglês: “Saddle condition” (Shelden, 2002).

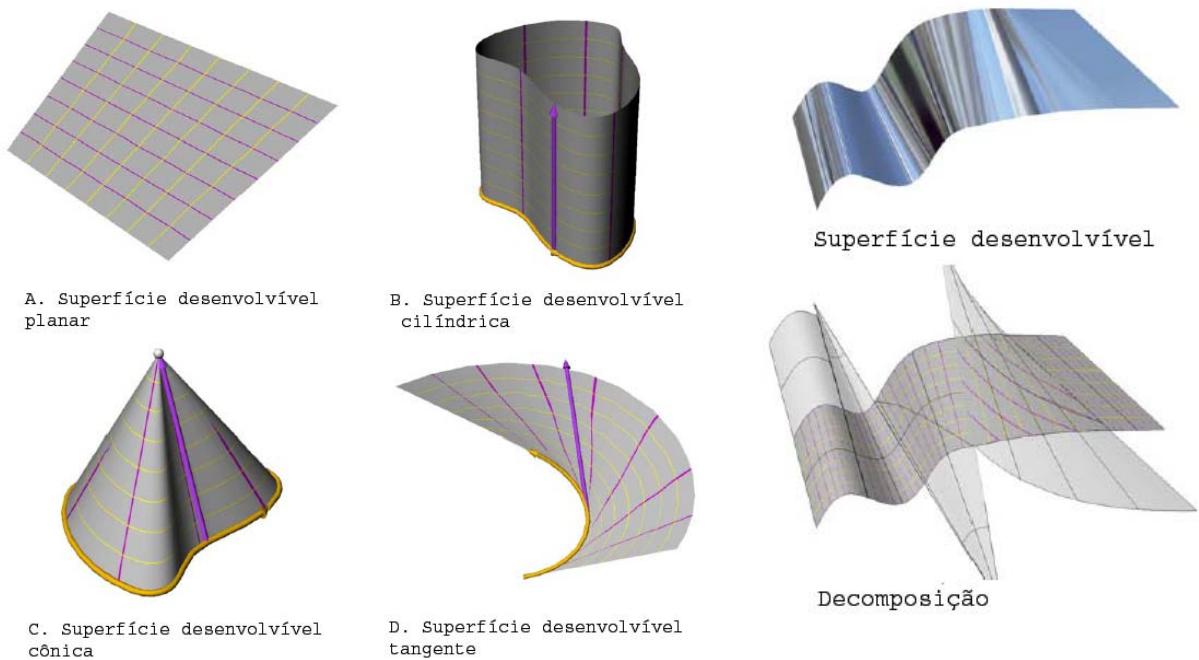
mão. O modelador manipulava visualmente as curvas até encontrar a curvatura determinada na análise. Outra limitação essencial é que muitas vezes os materiais sofrem mais deformações do que pode ser previsto na análise gaussiana.

Ironicamente, a grande liberdade formal das nurbs acabou sendo ‘livre de mais’, ou seja, impunha menos restrições do que o desejado. Para resolver esse problema, foram desenvolvidas representações alternativas que aceitam a imposição de certas restrições à representação das superfícies de modo direto. Os modeladores de Gehry passaram a utilizar superfícies desenvolvíveis, que segundo Robin Evans (1997) na verdade são técnicas observadas na arquitetura pelo menos desde o século XVIII.

Na Matemática, superfície desenvolvível é a superfície com curvatura gaussiana zero, apesar de a aparência ser bastante curva. É um tipo de superfície que pode ser planificada sem distorção, ou seja, ela pode ser ‘desenrolada’ no plano sem sofrer deformações, como estiramento ou compressão no plano da superfície. Inversamente, essa superfície que pode ser gerada através da transformação do plano, como dobras, flexões, cortes ou rotações. Nem todas as superfícies são desenvolvíveis. Esferas, por exemplo, não são desenvolvíveis sob nenhuma métrica, pois não podem ser desenroladas em planos. Já o toro possui métrica desenvolvível.

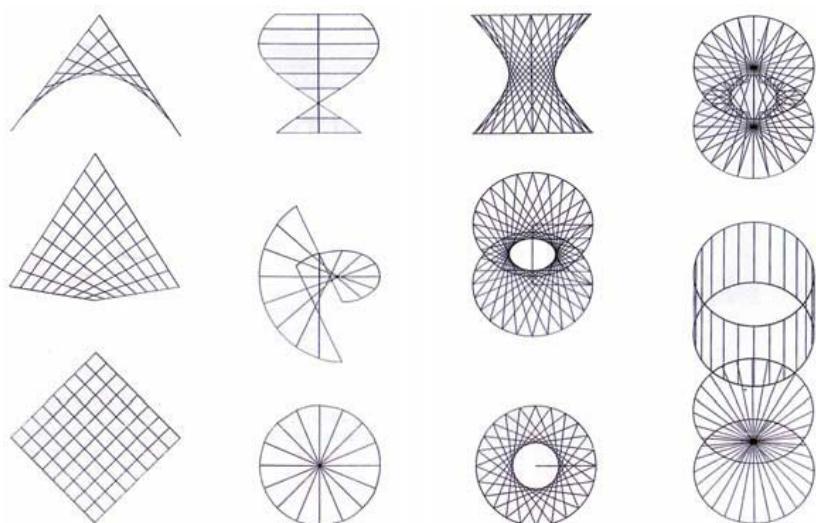
Por não possuírem grau de curvatura gaussiana, todas as superfícies desenvolvíveis tridimensionais são superfícies regradas, à exceção dos hiperbolóides, as quais são exemplos de superfícies regradas que não são desenvolvíveis. Por serem superfícies regradas, a maior parte superfícies desenvolvíveis podem ser descritas por linhas retas que se deslocam no espaço. Por exemplo, pode-se formar um cone fixando-se uma extremidade das linhas no mesmo ponto, enquanto as outras extremidades se deslocam ao longo do círculo. Outros exemplos similares são as superfícies cilíndricas e as tangentes desenvolvíveis das curvas do Experience Music Project. Nas superfícies duplamente regradas, em cada um dos seus pontos fixos há duas linhas distintas que se encontram na superfície. O parabolóide hiperbólico e o hiperbolóide de uma folha são exemplos de superfícies duplamente regradas. O projeto da Swiss Re (2000) do arquiteto Norman Foster é o bom exemplo de superfície duplamente regrada.

Figura 3.30: Superfícies desenvolvíveis (Shelden, 2002)



Teoricamente, qualquer superfície desenvolvível pode ser decomposta em seções pertencentes a uma dessas quatro classes.

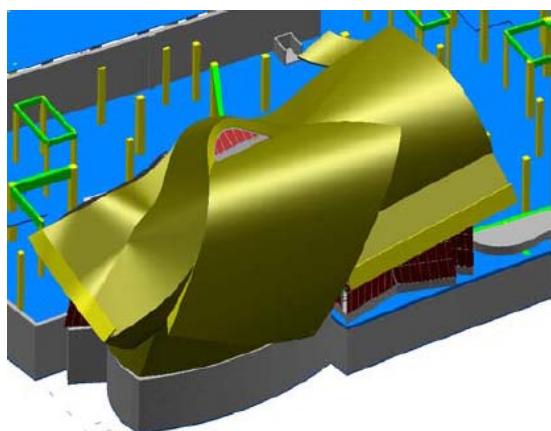
Figura 3.31: Superfícies regadas (Shelden, 2002)



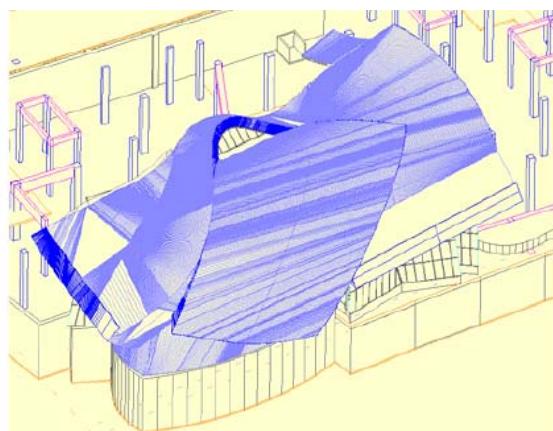
O tipo de representação de superfícies complexas como superfícies desenvolvíveis é extremamente importante dentro do arsenal de técnicas usadas na construção de modelos digitais. Resumidamente, é um plano enrolado, portanto, as características de plano são garantidas na descrição topológica da superfície. Um atributo importante é que como as superfícies desenvolvíveis são superfícies regradas, as linhas retas que as formam não têm variações na direção da normal. Outra característica importante é que são isométricas, ou seja, quando são planificadas possuem o mesmo tamanho.

Outro bom exemplo de aplicação de superfícies desenvolvíveis é o projeto da *Weatherhead School of Management* (2002) em Case Western Reserve University. As superfícies desenvolvíveis foram o principal elemento geométrico do sistema construtivo.

Figura 3.32: Weatherhead School of Management. Superfícies desenvolvíveis (Shelden, 2002)



Modelo gerado com superfícies desenvolvíveis



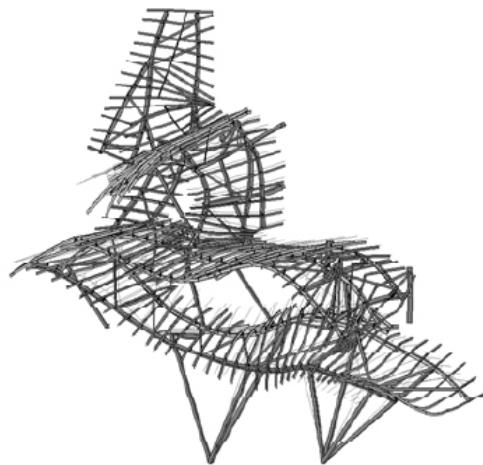
Elementos das superfícies com linhas de regra

Em projetos mais recentes, o escritório de Gehry tem utilizado outras duas técnicas de análise de desempenho bastante difundidas entre as arquiteturas digitais: **FEM (finite-element method)** e **CFD (computational fluid dynamics)**. No método FEM, o modelo geométrico do edifício é dividido em elementos menores, interconectados por malhas paramétricas. Esses elementos são usados para melhorar o desempenho estrutural, a eficiência energética e a dinâmica de fluxos em edifícios de qualquer complexidade formal. As avaliações quantitativas das proposições formais podem ser avaliadas qualitativamente graças ao incremento das técnicas de visualização gráfica. Superpondo várias análises, as alternativas de formas podem ser comparadas com relativa simplicidade. O arquiteto pode

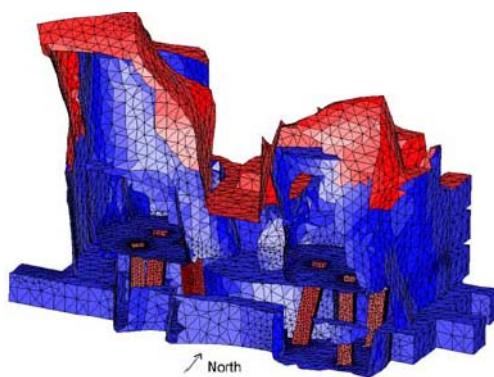
escolher a melhor combinação entre forma e desempenho com sólida base de decisão.

**Figura 3.33: Modelo wireframe do Hotel Marquês de Riscal, 2002 – 2006.
Análise FEM (Shelden, 2002)**

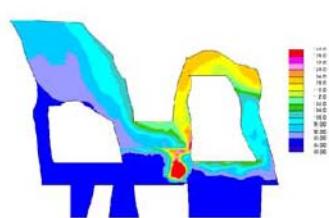
Normalmente, o modelo em *wireframe* do projeto prevê apenas a definição geométrica do posicionamento de elementos. Informações suplementares, incluindo materiais, propriedades de corte, e graus nodais de liberdade devem ser adicionadas posteriormente ao modelo de engenharia. Atualmente, o software utilizado para efetuar a análise FEM de elementos estruturais geralmente não pode aceitar elementos curvos. Isso acontece porque geralmente esses tipos de software usam geometria finita como base de análise. Como as superfícies curvas não podem ser regredidas, a geometria de projeto deve ser racionalizada em membros lineares segmentados e as placas de revestimento subdivididas em seções triangulares antes da importação para software de análise FEM. Essa transcrição da forma deve ser realizada com cuidado, já que durante esse processo, as curvas podem ser deformadas.



**Figura 3.34: Simulação do fluxo de ar em situação de incêndio para estudo da forma do átrio da Weatherhead School of Management
(Shelden, 2002)**



A análise CFD é usada principalmente para avaliar os fluxos de ar no entorno do edifício, mas também pode ser aplicada para qualquer tipo de fluxo do edifício. O banco de dados do programa é alimentado com informações do entorno e da atividade do edifício para computar além da dinâmica dos fluxos (de ar,

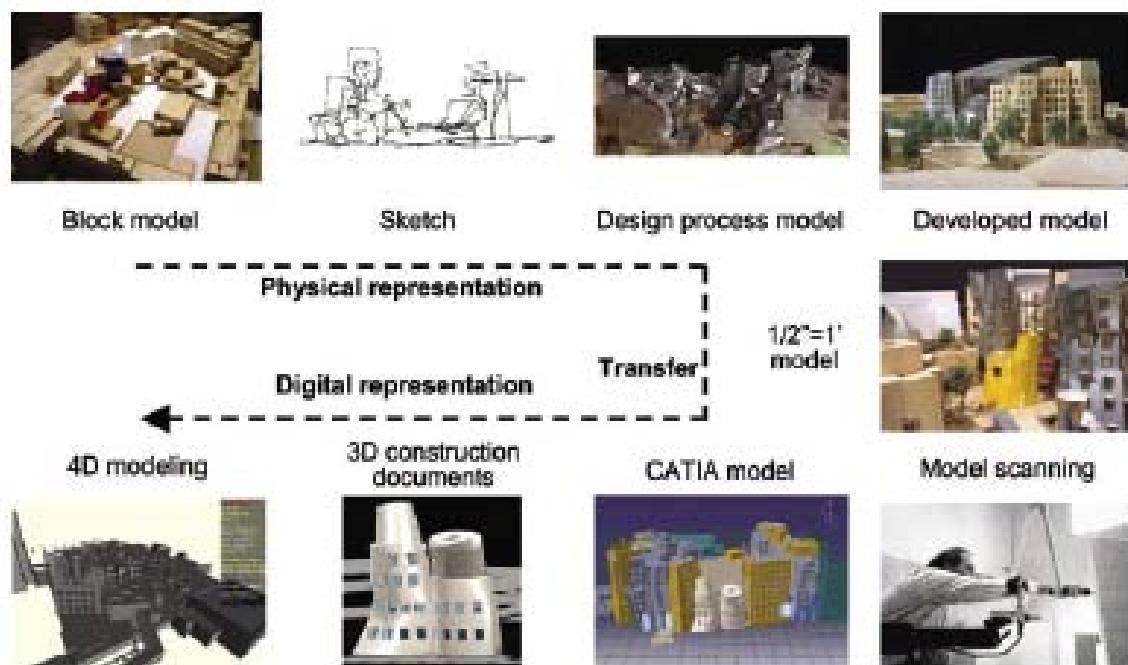


fumaça, água...) as transferências de calor entre o revestimento e o ambiente, as reações químicas como combustão e as deformações às quais a estrutura dos edifícios está submetida. Segundo Shelden (2002), esse tipo de análise têm sido utilizado no escritório de Gehry como aplicativo de segurança e eficiência energética. É particularmente eficiente para simulação do fluxo de partículas, fumaça, calor, ar e energia em ambientes de formas complexas, já que os parâmetros de segurança acabam sendo difíceis de interpretar no contexto dos projetos de Gehry (2002).

3.2.9 Diagrama-resumo

O diagrama confeccionado por Matsushima (2004) sobre o processo conceptivo de Frank Gehry para o projeto do *MIT Stata Center* (1998) serve como ilustração do método desse arquiteto como um todo.

Figura 3.35: Diagrama resumo (Matsushima, 2004)



3.3 O Efeito Bilbao

Existem poucos edifícios no mundo que as pessoas, arquitetos ou leigos, atravessariam o mundo para ver. Talvez o *Taj Mahal*, as pirâmides do Egito ou o *Pathernon*. No final do século XX, muitos acreditam que o *Museu Guggenheim de Bilbao* pôde ser incluído nessa seleta lista. À primeira instância, a complexidade dessa obra-prima se manifesta obviamente nas superfícies retorcidas. Em análise mais minuciosa, sua capacidade de propagar reverberações em campos externos à disciplina da arquitetura sugere complexidades muito além das questões técnicas narradas acima. A obra inscreveu a cidade de Bilbao no mapa-mundi e provocou o boom econômico da região, alterando significativamente o caráter da cidade. Adquiriu status de ícone mundial da cultura contemporânea, atraindo a atenção de grande público não especializado.

O “**Efeito Bilbao**”, como o arquiteto Peter Eisenman (in Jencks, 2005) pode ser descrito em números. De acordo com dados publicados por Charles Jencks (2002), a reforma da *Tate Modern Gallery* (1998) projetada pelos arquitetos Herzog e de Meuron custou cerca de 200 milhões de dólares. Já o *Museu Guggenheim de Bilbao* teve sua construção estimada em 100 milhões de dólares. Ainda de acordo com Jencks, o museu de Gehry atraiu 1,3 milhão de visitantes apenas em 1998, no primeiro ano de abertura. Em 1999 foram 1,1 milhão e até o ano 2000, foram mais de três milhões de visitantes no museu, sendo que 87% deles eram de fora do País Basco. Esses visitantes gastaram mais de 400 milhões de dólares na região nos dois primeiros anos. A arrecadação anual em impostos da cidade subiu em 70 milhões de dólares. O museu também atraiu 137 corporações que decidiram investir na região.

Na Arquitetura, o efeito Bilbao teve diversos desdobramentos. A leitura simbólica do edifício é evidente nas palavras de Branko Kolarevic (2003): “é provavelmente o exemplo mais conhecido de edifício que capta o *zeitgeist* da revolução da informação digital”. O impacto de sua construção mostrou ao mundo arquitetônico do que a combinação entre criatividade, tecnologia de ponta e poder econômico é capaz de gerar. Quase quinze anos após sua conclusão, muitas obras complexas nos mesmos moldes foram construídas utilizando-se princípios similares. No entanto, é difícil encontrar complexidade equivalente na produção contemporânea. Este museu ultrapassou os limites do que se entendia até então como vanguarda tecnológica na construção. Dentro do contexto dessa dissertação, a

conseqüência mais significativa do efeito Bilbao foi a abertura dos caminhos para o desenvolvimento das arquiteturas digitais, que finalmente poderiam ser tiradas das telas dos computadores.

No cerne desta questão certamente figura o potencial de toda a gama de ferramentas digitais contidas no computador, cuja natureza é diferente das mídias analógicas. Como se tentou demonstrar aqui a partir do relato dos procedimentos e depoimentos de membros da própria equipe de Gehry foi somente graças a elas que esta obra pôde ser construída. Esse fato iluminou as discussões já em andamento sobre as novas possibilidades que o computador oferecia. A partir desse ponto de inflexão ficou mais evidente que o potencial das ferramentas digitais estava além da substituição das ferramentas tradicionais simplesmente por analogia. De fato, era possível instituir novos métodos de representação. Contudo, uma das conseqüências mais relevantes foi a criação novas maneiras de manipular e gerar as formas arquitetônicas, abrindo caminhos para novas experimentações formais na arquitetura com o respaldo técnico construtivo.

Nesse contexto, pode-se dizer que a questão da representação dentro do processo conceptivo adquiriu certo tom de busca por novos procedimentos projetuais. O espaço digital proporcionou a revisão dos processos de representação que pudesse desembocar na reformulação dos processos de projeto em função de novas estratégias de criação do espaço e novas formas de representação. Em outras palavras:

“O exercício de abstração, no contexto da arquitetura contemporânea, apresenta-se como um recurso ao pensamento arquitetônico e, consequentemente, ao desenvolvimento de novos procedimentos projetuais. No momento em que o fenômeno do espaço virtual provoca uma revisão dos modelos e, principalmente, dos processos de representação, o exercício de abstração pode levar tanto a novos métodos de criação de espaços e de formas de apresentação.” (Piazzalunga, 2005).

Se por um lado é sabido historicamente que as ferramentas e suas representações correspondentes são importantes no processo de concepção arquitetônica, por outro a arquitetura não pode ser definida somente por elas. As ferramentas, desenhos ou modelos digitais são simples e incompletas em relação à obra de arte ou o edifício. Nenhuma ferramenta é capaz de replicar a obra de arte. A simplicidade do desenho, bem como sua abstração, é uma das maneiras de controlar a complexidade que envolve a produção artística. Ao mesmo tempo, o desenho fornece meios de interpretar e antecipar a experiência futura do espaço a ser construído. Os arquitetos usam desenhos e modelos para projetar essa experiência futura através da ‘percepção-em-ação’ ou analogia dinâmica.

O grau de abstração é controlado pelo arquiteto em função da ferramenta utilizada, metodologia e especificidade da representação: bidimensional, tridimensional e agora, quadridimensional. Por serem mais fidedignos à intenção final, os modelos digitais envolvem menos interpretação e, portanto, operam como extensão da percepção. Dessa forma, a representação se torna menos o ato de comunicação e mais a busca por possíveis correspondências, com implicações mais previsíveis (Saggio in Lindsey, 2001). Como disse Antonino Saggio:

“Naturalmente, pode haver infinitas novas visões tridimensionais; novos diagramas e seções podem ser desenhadas; todos os aspectos do projeto inteiro podem ser estudados em detalhes simultaneamente em minutos. Mas o modelo eletrônico é por sua natureza extremamente diferente de uma maquete tradicional uma vez que é um todo vivo, interativo (e em certos aspectos inteligente). Enquanto na maquete a informação é estática, no modelo digital todos os bits de informação estão interconectados dinamicamente. Nesse sentido, o modelo eletrônico é um recurso para estudar, testar, simular e construir. Não garante que o projeto seja bem sucedido, mas é o passo adiante mais importante na tarefa de projetar desde a descoberta da perspectiva” (Saggio in Lindsey, 2001)

Todos esses argumentos contribuem para a conclusão de que um dos desdobramentos mais significativos do efeito Bilbao foi chamar a atenção para o **processo de projeto**. Essa dedução encontra ecos na afirmação de Bruce Lindsey (1999), de que assim como o mau resultado provavelmente é consequência do mau procedimento, “quando algo tão extraordinário é construído, só pode ser o resultado do processo de projeto tão único, não ortodoxo, mágico, peculiar e muito além da prática comum”. Nesse contexto, cabe concordar com a afirmação de Gehry de que “não é somente o software. É o modo como usamos o software, é o modo como ajudamos a melhorar o software, e é o modo como nós o integramos no nosso processo” (Boland Jr e Collopy, 2004). A obra de arquitetura depende não só do conhecimento a cerca da ferramenta, mas da maneira particular do designer de empregar esses instrumentos e produzir coisas únicas. Nesse sentido, Gehry situa o questionamento da arquitetura digital no campo metodológico.

3.4 A mudança na noção de representação

É muito comum abordar as mudanças impressas pelas novas ferramentas digitais sob o prisma da representação gráfica ou da análise de seus potenciais operativos. Como foi visto até aqui, os usos verdadeiramente inovadores das ferramentas digitais podem estar localizados no domínio metodológico e não no domínio estritamente representacional. Por trás de todas as implicações teóricas e conceituais da construção do *Museu*

Guggenheim de Bilbao para a Arquitetura, na prática, é inquestionável que a materialização dessa obra paradigmática só foi possível graças à série de avanços tecnológicos nos aspectos que envolvem concepção e construção. Segundo Branko Kolarevic (2000), no domínio digital, mais importante **do que** tem sido feito, é **como** tem sido feito. Essa pergunta é o assunto principal do próximo capítulo dessa dissertação. No entanto, como uma das linhas investigativas desse trabalho perpassa pelas mudanças na representação de projetos ocasionadas pela incorporação das ferramentas digitais na arquitetura, torna-se relevante comentar especificamente sobre essa questão.

É possível identificar alguns indícios que apóiam a suposição de que houve mudanças específicas também na maneira de representar objetos em função das ferramentas digitais. Essas mudanças podem ser mais profundas e significativas do que a produção de perspectivas foto-realísticas. Essa investigação procurou seguir os rastros de duas afirmações. A primeira atesta que “é na dimensão do **suporte**, agora digital, que reside a grande mudança para o pensamento e gênese da nova arquitetura do virtual” (Ascott apud Lacombe, 2006, grifo nosso). A segunda estabelece que as **ferramentas digitais** são “o passo adiante mais importante na tarefa de projetar desde a descoberta da perspectiva” (Saggio in Lindsey, 2001). Para que o suporte e as ferramentas digitais deflagrassem efetivamente mudanças tão significativas, provavelmente o computador e os modelos nele produzidos deveriam possuir certas características incomparáveis com os artefatos analógicos.

Conforme foi visto no Capítulo 1, a construção de maquetes e desenhos são artes tão antigas quanto a própria Arquitetura, mas que sobreviveram em diferentes medidas. O que progride, muda e evolui são as visões artísticas. Em diferentes épocas, arquitetos se utilizaram de ferramentas correntes de maneiras inovadoras (Dollens, 2002). Os desenhos de Piranesi (1720-1778) e de Boulleé (1728-1799) foram feitos com lápis, carvão, tinta e papel. No entanto, as composições gráficas produzidas por esses arquitetos revelam visão espacial e criatividade fora do comum. Mais tarde, Peter Eisenman se utilizou das ferramentas digitais para efetuar transformações sobre sólidos platônicos e gerar espacializações igualmente complexas. Neste caso, a tecnologia digital auxiliou no processo de visualização porque, “mais que nenhuma outra ferramenta, pode renderizar fielmente imagens tectônicas, além de calcular e transferir essas imagens a propriedades físicas reconhecíveis” (Dollens, 2002).

As maquetes de Filippo Brunelleschi (1377 – 1446), Antoni Gaudi (1852- 1926) e seu colaborador Josep Maria Jujol (1879-1949) simulavam as propriedades dos materiais que seriam utilizados na edificação para testar soluções construtivas. Foram feitas com ferramentas e recursos muitos mais simples e limitados do que os disponíveis hoje, mas refletiam claramente a preocupação com a visualização e representação realísticas. Os espaços dobrados, orgânicos e complexos concebidos pela dupla continuam a impor desafios à capacidade de cálculo dos engenheiros. As manipulações espaciais desses arquitetos, embora limitadas, não deixam de nos maravilhar até hoje.

Da mesma maneira, na arquitetura de Gehry, as maquetes físicas e os modelos digitais não representam simplesmente a geometria do projeto. Ambos simulam certos atributos físicos dos materiais que serão utilizados na construção. Portanto, as características dos modelos e das maquetes mantinham certa relação de representação com as qualidades dos materiais em escala real e com os aspectos dos processos de fabricação (Shelden, 2002). As complicações de desenho das superfícies curvas não regulares foram resolvidas no software com o emprego de linhas nurbs. A preservação das propriedades topológicas das linhas e superfícies nurbs garantia a possibilidade de descrição geométrica de modo a permitir a construção.

Se os desenhos de espaços complexos e/ ou curvos não regulares, a simulação de características físicas e a representação fiel em perspectivas realistas não são possibilidades oferecidas exclusivamente pelas ferramentas digitais, resta saber quais são os possíveis atributos únicos dos modelos digitais que poderiam atender às sugestões de Ascott e Saggio. A interpretação aqui sugerida é que **o uso do computador associado ao projeto arquitetônico promoveu a fusão entre suporte e ferramenta, representação e ato conceptivo; aspectos do ato de projetar separados historicamente pelo paradigma albertiano**. Dentro dessa conjectura, pode-se supor que **a fusão entre esses elementos converge para os modelos BIM parametrizados**.

Se nomearmos de **simulações** “toda entidade coordenada, integrada e única que contém ou está conectada a todas as informações necessárias para planejar e construir o edifício” (Kymmel, 2008), sejam elas maquetes, diagramas, desenhos ou instruções verbalizadas, pode-se dizer que o fio que costura todos esses artefatos para descrever edifícios é a **informação**. Por se tratarem de métodos projetivos de representação, as informações contidas nestes exemplos são limitadas e fragmentadas, isto é, desconectadas de outras informações constituintes do mesmo projeto. Além disso, segundo Tierney (2007) a

definição tradicional de representação arquitetônica exclui qualquer noção de relatividade entre tempo e espaço, ou seja, uma imagem estática era uma imagem imóvel, temporalmente fixa.

Em contraste, os modelos BIM parametrizados agregam informações sobre o projeto de determinada maneira que as representações projetivas tradicionais não poderiam. Como seu suporte é dinâmico, os dispositivos de representação arquitetônica, permanecendo como partes inerentes e integrantes do processo de concepção, alteraram a sua base ontológica, deixando de ser documentos estáticos em duas dimensões para se constituírem como entidades tridimensionais com potencial de inclusão da dimensão temporal.

Assim como o plano neutro e estático do papel corresponde às ferramentas analógicas, ao espaço digital dinâmico e informacional, correspondem os modelos interativos, descritos com geometria associativa. Como disse Therese Tierney:

“Essa concepção dinâmica do espaço de projeto arquitetônico e produção é crucial para qualquer investigação de efeitos novos meios de comunicação sobre a imagem arquitetônica⁸⁴. Se, no entanto, consideramos certas noções herdadas do passado – o classicismo de Platão ou a fenomenologia de Heidegger – por exemplo, não encontramos uma visão dinâmica de arquitetura e espaço, mas uma em que os edifícios eram vistos como idealizados, objetos estáticos localizados no espaço fixo. A imagem arquitetônica em si era a representação da estabilidade desse espaço. Se referenciava à permanência de forma a negar a passagem do tempo” (Tierney, 2007).

As informações mais básicas sobre os modelos BIM paramétricos estão relacionadas aos parâmetros físicos, como tamanho, localização e quantidade, mas outras informações adicionais podem ser incorporadas aos elementos do modelo, tais como especificações de materiais, e de fornecedores. Segundo Kymmel (2008), também é possível embutir informações temporais, permitindo o agendamento de encomendas, a estimativa de fabricação e organização das tarefas de instalação⁸⁵. Os componentes do modelo também podem ter links externos, referenciados a qualquer outro tipo de arquivo de computador, como e-mails, ordens de compra, sites de fabricantes, especificações de instalação, informações sobre custos e as informações contábeis do projeto. Em suma, “quase todos os

⁸⁴ A autora Therese Tierney (2007) usa o termo “imagem arquitetônica” (no original em Inglês, architectural image) para descrever fotografias, imagens renderizadas, animações, desenhos arquitetônicos, sejam eles analógicos ou digitais, ou qualquer outro tipo de mídia que sirva para comunicar o projeto.

⁸⁵ As informações contidas nos modelos BIM parametrizados podem ser simular as três fases do tempo projeto. A pré-construção – a fase de planejamento e concepção de atividades antes da construção, o curso de construção – fase de gestão das atividades de construção durante a construção, e a pós-construção – a fase de gestão de propriedade atividades após a construção (Kymmel, 2008).

tipos de informações pertinentes ao objeto arquitetônico podem ser ligados ao modelo BIM. Cabe ao usuário decidir quais tipos de informação são relevantes ao projeto” (Kymmel, 2008).

As relações paramétricas podem referenciar elementos pelo ‘tipo’ ou pelas ‘características’. Por exemplo, as paredes possuem aspectos semânticos comuns entre si, isto é, todas as paredes têm ‘qualidades de parede’ em comum. No desenho de representação, são representadas convencionalmente com duas linhas paralelas, que remetem ao material sólido de sua construção. Mas na realidade, apesar dessas semelhanças, cada parede pode ter características variáveis que podem ser ignoradas nas representações convencionais, como as suas dimensões, a composição de material ou informações de fornecedores (Kymmel, 2008).

Com efeito, uma das principais características dos modelos BIM parametrizados é o desenvolvimento do projeto através de um ciclo de retroalimentação de informações. A evolução do modelo e das informações relevantes do projeto é cíclica, repetitiva (Kymmel, 2008). Pode-se dizer, então, que **os modelos BIM parametrizados não só agregam mais informações, como também estabelecem a fluência entre essas informações durante o processo de projeto.** Esse caso é outro tipo de representação que não pode ser feita em representações convencionais no mesmo nível. Por exemplo:

“Uma vez que o modelo já contém as informações quantitativas em seus componentes, isso pode ser vinculado à base de dados orçamentário a partir da qual é possível produzir a estimativa de custos baseada nos quantitativos do modelo. Todas os componentes do modelo possuem informações tais como matéria, tamanho, number (count), comprimento, altura, peso, área e volume que podem ser conectados à informação de custo gerando a interpretação de custos do projeto. Por exemplo, se o modelo contém uma laje, ela terá um volume que pode ser multiplicado pelo custo do concreto por metro cúbico e renderá um custo total para essa parte do modelo (a laje do projeto); e se o modelo contém certo número de janelas específicas, esse número será multiplicado pelo custo por janela no banco de dados, e renderá o custo total. Assim, a estimativa de custo está diretamente relacionada ao conteúdo do modelo tridimensional e irá refletir as alterações feitas no projeto dentro do modelo” (Kymmel, 2008).

Em última análise, os modelos BIM parametrizados sintetizam vantagens importantes dos sistemas de representação BIM e por geometria associativa: todo o potencial de visualização do tipo de representação não projetiva; a possibilidade de serem confeccionados como construções reais; a associação de informações parametrizadas, garantindo as modificações globais e instantâneas no modelo; e, anexação de diversas informações pertinentes ao projeto no modelo. Isso pode significar que uma das principais diferenças entre representação convencional e a representação por modelos BIM

parametrizados reside na incorporação de sistema completo de informações pertinentes ao projeto nestes modelos. Por esta razão, os modelos BIM parametrizados também são chamados de “modelos inteligentes”⁸⁶ (Kymmel, 2008).

"O que está vindo à luz não é uma simples ferramenta de projeto, mas um banco de dados real estruturado de uma forma gráfica e alfanumérica. Podemos chegar à representação de formas concretas, mesmo usando esta estrutura de dados com processos iterativos. Em outras palavras, estamos lidando com ferramentas informáticas que ligam mais do que informação para a entidade gráfica" (Nardini; de Luca, 2002)

Segundo Dennis Dollens (2002) os modelos digitais guardam relações inteiramente novas com a tecnologia, dando novos contornos às relações entre arquitetura e máquina. Conforme mencionado anteriormente, na origem dos sistemas CAD a máquina deixou de ser somente a referência estética ou um novo tipo de mobiliário a ser considerado no projeto (Banham, 2006)⁸⁷. Na esteira desse movimento, a máquina foi internalizada à arquitetura, passando a ser uma ferramenta para a sua concepção. Os modelos BIM parametrizados não só renovaram esses laços, como podem ter ido adiante, uma vez que o planejamento e a realização desses modelos remetem diretamente aos mesmos procedimentos da construção real. Dollens exemplifica esse pensamento da seguinte maneira:

"Uma fresa controlada numericamente não se regula a si mesma de acordo com a capacidade da máquina, mas descreve a curvatura variável de uma superfície de possibilidades. A organização da relação imagem-máquina se inverteu: o desenho do objeto já não está subordinado à geometria mecânica; é a máquina quem se integra diretamente à tecnologia de uma imagem sintetizada" (Dollens, 2002).

O processo de projeto nesses moldes é realizado sobre o artefato interativo capaz de simular a construção real, em processo de atualização constante ao longo do ato conceptivo. De acordo com Kymmel (2004), a eficácia dos modelos BIM parametrizados está na evolução paralela entre simulação e objeto simulado, onde o processo de projeto é de fato um ensaio para as ações práticas. Desse modo, os modelos BIM parametrizados podem promover a convergência entre representação e processo de produção. “A informação do projeto é a [mesma] informação da construção” (Kolarevic, 2003: 4).

Essa declaração estabelece uma expectativa que já existia na indústria, mas que acaba de entrar no foco de mira da arquitetura: “a capacidade de produzir dados visualizados digitalmente como objetos físicos” (Dollens, 2002). Isso significa que o processo de

⁸⁶ No original em Inglês: “smart models” (Kymmel, 2008).

⁸⁷ Cf. Anexo I.

descrição, representação e construção de um edifício pode ser mais direto e mais complexo porque a informação sobre esse objeto pode ser extraída, trocada e utilizada rapidamente com grande facilidade. Os novos métodos de representação da forma com ferramentas digitais são “*real as data*” (Franken in Kolarevic, 2003), ou seja, tão reais quanto as informações neles contidas. Como disse McCullough (1998) “as ferramentas digitais têm expandido nossa capacidade de visualizar estruturas simbólicas abstratas como imagens físicas”.

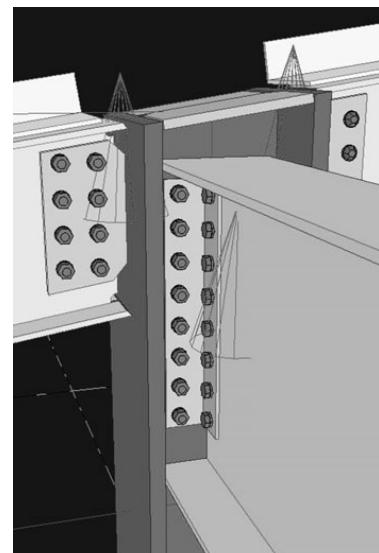
Para William Mitchell (2005), é precisamente a combinação entre modelos inteligentes, visualização realística e fluxo informacional que configura o ponto de inflexão na representação. Em suas palavras:

“A mudança, eu sugiro, é um resultado direto das novas condições criadas pela revolução digital. Edifícios já foram materializados por meio de desenhos, mas agora, cada vez mais, eles são materialização das informações digitais - concebido com a ajuda de sistemas CAD, fabricado por meio de máquinas controladas digitalmente, montados no local com o auxílio de distribuição digital e dispositivos de posicionamento, e geralmente inseparáveis dos fluxos de informação das redes globais de computadores. Muitos arquitetos têm explorado a tecnologia digital simplesmente para reduzir o tempo e o custo de produção de edifícios no modo convencional modernista, assim como os arquitetos da primeira revolução industrial tiraram proveito da produção em massa para proliferar de forma econômica os ornamentos que eram criados previamente por artesãos. Mas outros têm reconhecido que a revolução digital abriu novos domínios de forma arquitetônica para a exploração, e eles aproveitaram a oportunidade para produzir projetos que quebram as regras antigas” (Mitchell, 2005).

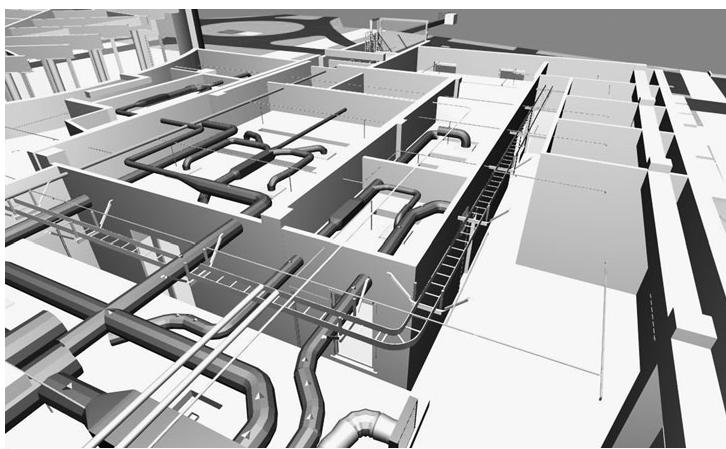
Figuras 3.36: Modelo BIM paramétrico do projeto de instalações para um hospital (Kymmel, 2008)



Subsolo do projeto de um hospital cirúrgico, com simulação da instalação das máquinas.



Detalhe da estrutura.



Instalações dos dutos.

Os modelos BIM parametrizados não eliminam o papel do desenho e nem a necessidade de documentação convencional em duas dimensões, mas podem ser vistos “como o começo de nova abordagem” (Kymmel, 2008). Branko Kolarevic observa que:

“a relação previsível entre projeto e representação é abandonada em favor da complexidade dos métodos computacionais generativos. Os modelos capazes de gerar transformações consistentes, contínuas e dinâmicas estão substituindo as normas estáticas do processo convencional de concepção arquitetônica. (...) O ‘plano’ não gera mais a forma do edifício; as seções servem somente como instrumento analítico” Kolarevic (2003).

A discussão suscitada neste Capítulo procurou clarificar que o modelo BIM parametrizado é o modo dinâmico de representar a arquitetura, cujo caráter não se assemelha às ferramentas tradicionais de representação. A natureza dos componentes que constituem estes modelos – representação tridimensional, informações do projeto e geometria associativa – evolui através das etapas de concepção do projeto e resultam em várias grandes mudanças tanto nos modelos quanto nas informações a ele anexadas. Essa observação serve particularmente para *reforçar a importância do processo sobre o modelo como representação propriamente dita*. **O modelo BIM paramétrico é o próprio processo dinâmico** (Kymmel, 2008).

Nesse sentido, a obra de Gehry é uma espécie de ponto cego dentro do domínio das arquiteturas digitais porque esse arquiteto realiza sua arquitetura digital praticamente sem solução de continuidade (Dollens, 2002). As formas, espaços e idéias de Gehry parecem puros “analógicos-arquitetônicos” (Dollens, 2002), ou seja, seus edifícios não fazem referência aos indícios digitais. Mas por manterem estreita relação de dependência com as ferramentas digitais, “sua existência física é um testemunho eletrônico suficiente” (Dollens, 2002). Segundo Massad e Guerrero (2003), com a materialização deste edifício, Gehry:

"se converteu no primeiro arquiteto que, mediante o uso da tecnologia digital, tornou possível a construção do edifício formalmente complexo, cuja construção sem a tecnologia adequada, teria sido muito difícil ou impossível (...) Este edifício é, portanto, o primeiro edifício construído na era tecnológica: criado por um arquiteto que não pensa em termos digitais, que trabalha com modelos reais e que emprega a tecnologia a posteriori (...)".

Gehry é, portanto, um arquiteto digital diferente de Greg Lynn, Marcos Novak ou até mesmo Peter Eisenman⁸⁸. Estes últimos se aprofundaram no espaço digital em busca de inspiração e idéias produtivas, utilizando o computador como colaboradores ou sócios em seus projetos. Essa modalidade de uso, cujos desdobramentos serão analisados no próximo capítulo, parece não interessar a Gehry pessoalmente, haja vista suas próprias declarações de antipatia aos computadores.

Bryan Lawson (2004, 2005) se apoiou exatamente no fato de Gehry não projetar com computadores e sim com maquetes físicas e desenhos para sustentar sua tese de que a utilidade dos computadores no processo de projeto está relegada ao papel de ferramenta de

⁸⁸ A produção de Eisenman aqui referida diz respeito às obras analisadas neste capítulo. Cabe ressaltar que sua abordagem de manipulação digital é bem distinta das de Lynn e Novak, conforme foi visto no Capítulo 2.

representação. Sua principal contribuição é aumentar a produtividade de desenhos executivos e permitir a visualização holística de objetos, ou seja, tarefas que exigem mais esforço do que talento ou conhecimento propriamente. Lawson (2004) chega a afirmar que apesar de as *renderizações* super-realísticas gozarem de grande credibilidade no mercado, na verdade são perigosas porque podem mascarar problemas graves de projeto com imagens sedutoras.

Por outro lado, conforme demonstrado neste capítulo, o modo de conceptivo de Gehry pode ser conveniente para apontar a série de mudanças significativas e úteis à tarefa de projetar arquitetura de modo geral. Os modelos BIM parametrizados não precisam ser utilizados somente em arquiteturas extremamente complexas como no caso de Gehry. A evolução dos software em interfaces mais amigáveis que a do *Catia*, como por exemplo o *Autodesk Revit* podem contribuir para a difusão desse tipo de representação no meio arquitetônico.

Segundo Massad e Yeste, da convergência entre esses dois fenômenos presentes do método conceptivo de Gehry – a construção do edifício através de processos inovadores e a emergência de nova atitude arquitetônica – permite prever novas dimensões e possibilidades para a arquitetura, via ferramentas digitais. Estas tecnologias podem originar novos modos de criar, pensar, projetar, executar, construir e viver a arquitetura. De acordo com esses autores, "esta revolução na arquitetura não é um ato de reação contra os modelos estabelecidos, mas sim a materialização de uma nova sensibilidade formal e intelectual... Talvez por isso seja possível afirmar que estamos diante de uma revolução que vai operar mudanças sobre os parâmetros e conceitos fundamentais da arquitetura como agora é reconhecida e definida".

De modo análogo, Saggio (...) observa que a resistência em relação ao computador impede "reconhecer que uma das razões essenciais para considerar a aplicação de técnicas digitais na arquitetura como revolucionária é que ela implica na necessidade de reconfigurar os processos mentais envolvidos no conjunto das atividades arquitetônicas". Atitudes muito conservadoras podem bloquear a recognição de potenciais das ferramentas digitais que incidem sobre todos estes aspectos da arquitetura mais associadas às sua materialização, como por exemplo, a formação de novos tipos de espaços, a utilização de novos materiais, o desenvolvimento de técnicas de representação e construção mais eficientes e assim por diante. Ainda segundo Saggio (...), negar esta evidência é algo semelhante ao posicionamento daqueles que nos anos 1920 recusaram o potencial da indústria: "Se pensar sobre o que aconteceu nos anos vinte, veremos que os intelectuais como Walter Gropius

(além de Le Corbusier e Mies) foram capazes de reformular ‘inteiramente’ a arquitetura em função do estímulo mecânico oriundo do novo mundo industrial”. Kas Oosterhuis⁸⁹ (2003) vê nas ferramentas digitais a oportunidade de transgredir regras históricas na Arquitetura, questionando aspectos viscerais como a *função*. Segundo suas palavras, “tudo aquilo que faz com que a arquitetura seja mais do que uma construção técnica, um alojamento e uma invenção, está sob pressão na era digital” (Oosterhuis, 2003).

A observação da história recente das ferramentas digitais permite distinguir três fases evolutivas de uso do computador como ferramenta de criação da arquitetura. Durante a década de 1990, quando primeiros são revelados os seus potenciais artísticos, principalmente nos trabalhos de Greg Lynn, Marcos Novak e John Frazer, comentados no Capítulo 2. O segundo, pontuado pelo Museu Guggenheim de Bilbao, em que o computador quebra formas tradicionais e abre novas formas de fazer. E, finalmente, o terceiro em que o computador passa a ser “o instrumento eleito para a exploração de potenciais e novos questionamentos arquitetônicos” (Novak, 1988), sendo utilizado para gerar *formas radicalmente novas, por meio dos processos generativos*, como será visto no capítulo seguinte.

⁸⁹ É um dos principais personagens das arquiteturas digitais. É o fundador e diretor do Oosterhuisassociates, cuja abordagem peculiar e inovadora concentra arquitetos e artistas produzindo juntos.

CAPÍTULO 4 – FRATURAS METODOLÓGICAS NAS ARQUITETURAS DIGITAIS

CAPÍTULO 4. FRATURAS METODOLÓGICAS NAS ARQUITETURAS DIGITAIS

No período seguinte à construção do Museu Guggenheim de Bilbao, observou-se a proliferação de construções cujas formas foram geradas digitalmente utilizando-se de modo geral os princípios descritos no Capítulo 2 e as técnicas construtivas explicadas no Capítulo 3 deste trabalho. Mais além das propostas em fase de projeto, uma das premissas imateriais tem sido poder transpassar o âmbito do projetual e demonstrar a tradução das ferramentas e dos conceitos digitais na realidade arquitetônica física e palpável.

Grande parte do empenho construtivo foi direcionada a determinados equipamentos urbanos específicos que podem funcionar como sismógrafos culturais. Como por exemplo, os museus que sempre foram diretamente influenciados pelo discurso cultural e conceitual arquitetônico, muitas vezes funcionando como símbolos característicos da expressão cultural da época (Oxman, 2005); e os pavilhões de exposição cuja história particular permite afirmar que esse tipo de construção tem funcionado como laboratório experimental na arquitetura (Carvalho, 2007).

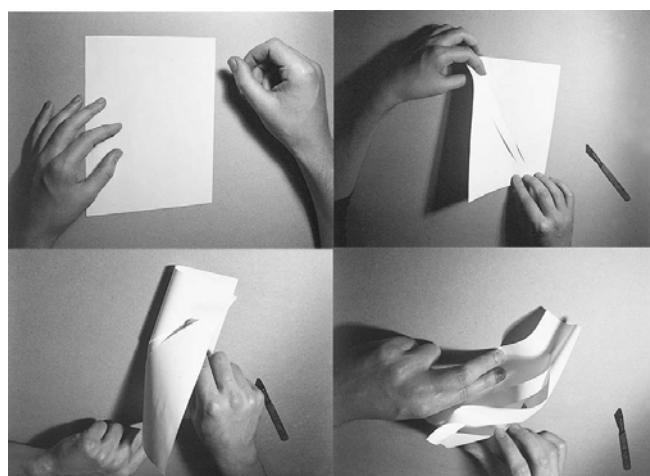
É notável que a nova arquitetura preste interesse particular na forma. As ferramentas digitais trouxeram a renovação das formas plásticas que têm introduzido no panorama atual o novo repertório de curvas e deformações. Visualização, construção, concepção são todos nichos disciplinares que trazem à tona aspectos diferentes de um mesmo fenômeno arquitetônico. As formas produzidas são caracterizadas por altos níveis de complexidade, presentes tanto na expressão formal quanto nos processos de concepção exclusivamente digitais (Mitchell, 2005). As exterioridades altamente curvilíneas foram consideradas por teóricos como Kolarevic (2003) como a expressão da aproximação renovada entre arquitetura e tecnologia digital.

"A arquitetura depende de seu tempo. É a cristalização de sua estrutura interna, o lento desenrolar da sua forma. Essa é a razão pela qual a tecnologia e arquitetura são tão estreitamente relacionadas. Nossa esperança é que elas crescerão juntas, de que algum dia uma será expressão da outra. Só então teremos uma arquitetura digna de seu nome: a arquitetura como um verdadeiro símbolo de nosso tempo" Mies van der Rohe, em 1950 (Klinger, 2002).

As arquiteturas construídas com estes princípios parecem rejeitar qualquer noção de estilo histórico, estruturação tipológica e morfológica, apesar da identidade ‘blobby’. São dinâmicas, não-lineares, não-tipológicas, descontínuas, amorfas, ahistóricas, de organização não-hierárquica, complexa e contínua. “Mas não sem precedentes” (Kolarevic, 2003). As arquiteturas da vanguarda digital compartilham a aparência curvilínea, fruto da exploração de manipulações topológicas transformacionais. Segundo Kolarevic (2003), o apelo da topologia nas arquiteturas digitais é parte estética, parte tecnológica e parte ideológica. Nesta última modalidade, o autor explica:

“o que feito a topologia ser particularmente apelativa não são as novas formas, mas, paradoxalmente, a mudança de ênfase da forma para a estrutura das relações, interconexões que existem interna e externamente no projeto de arquitetura. Não importa se a estrutura topológica arquitetônica é curvilínea (“blobby”) ou retilínea (“boxy”) a forma deve ser o resultado de circunstâncias particulares de desempenho no contexto do projeto, sejam elas morfológicas, culturais, tectônicas, materiais, econômicas ou ambientais” (Kolarevic, 2003).

Figura 4.1: Projeto para o concurso da nova biblioteca da Universidade de Rostock, Alemanha 2001 (Abel, 2004)



“A topologia na arquitetura significa a variação dinâmica da forma facilitada por tecnologias computacionais, projeto assistido por computador e software de animação. A ‘topologização’ da forma arquitetônica de acordo com a dinâmica e as configurações complexas que induzem ao design arquitetônico à plasticidade renovada e frequentemente espetacular, na trilha do expressionismo barroco e orgânico” (Di Cristina, 2001 apud Szalapaj, 2005).

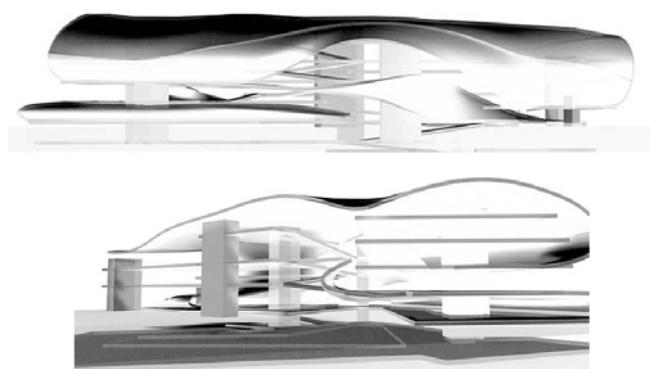
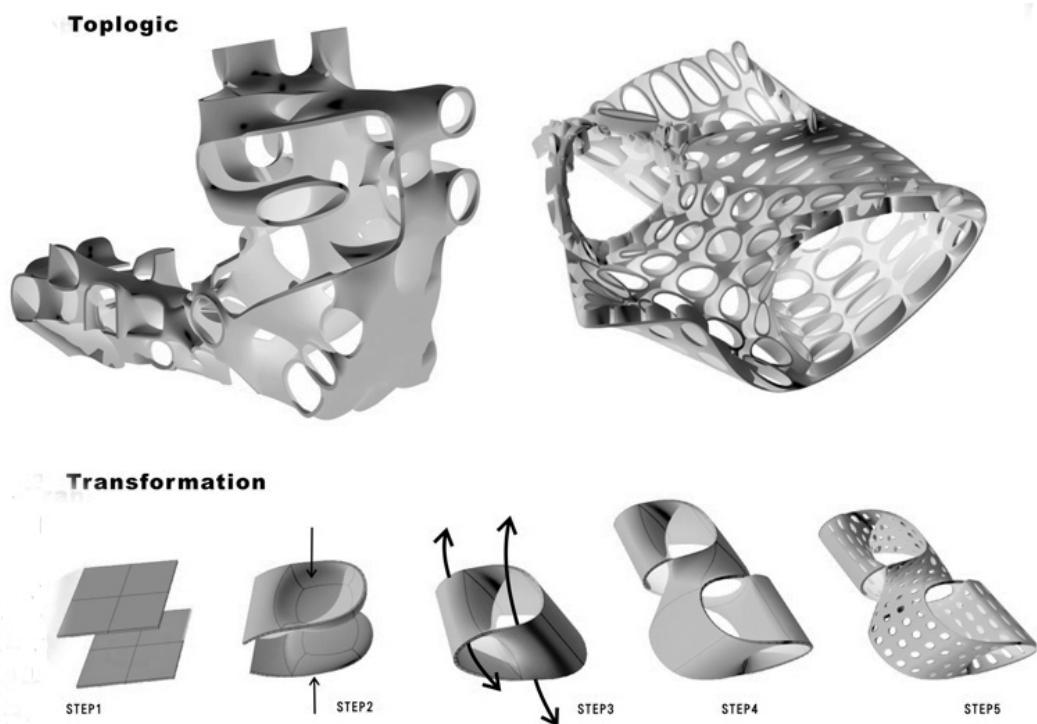


Figura 4.2 Fluxtecture, Zi-Hao Chen para o Concurso FEIDAD, 2006.



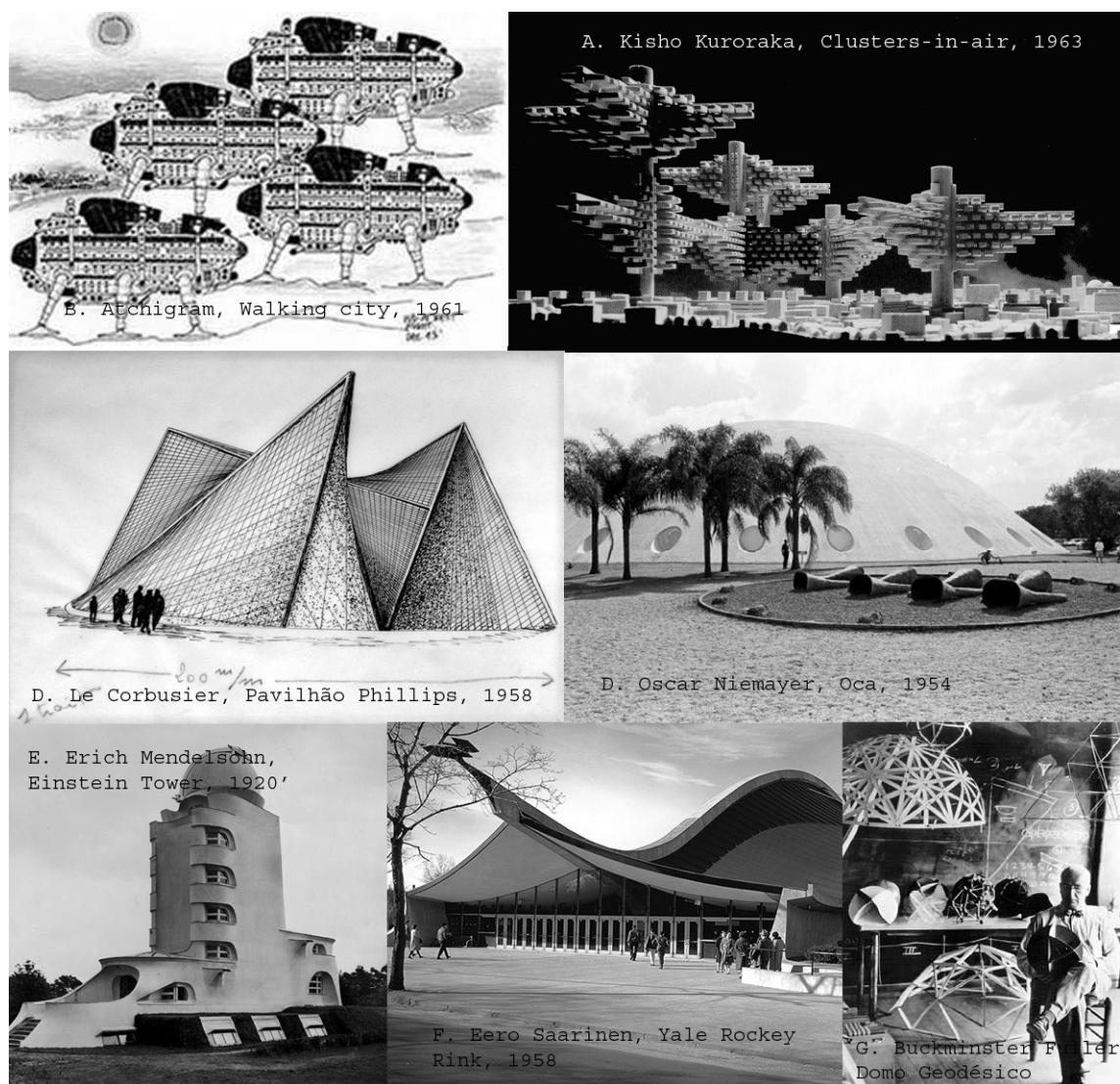
A fita Mobiüs, popularizada no circuito artístico por Escher, é a estrutura topológica mais evocada na arquitetura contemporânea. A continuidade espacial proposta pela abordagem topológica se diferencia daquela explorada pelo movimento moderno no sentido em que intenta ir além da continuidade espacial, mas na possibilidade de acesso físico e contato heterogêneo, a continuidade entre arquitetura e rede urbana (Sperling, 2003). Diversos projetos com referências diretas à topologia foram concebidos e construídos nos últimos anos, como a Residência Möbius, 1995, Het Gooi, Holanda, arquitetos UM Studio/ Bem Van Berkel e Caroline Boss; a Residência Natural Ellipse (2002) dos arquitetos japoneses Masaki Endoh e Masahiro Ikeda; a Residência; a Residência Kettle. Os toros contínuos ou cortados são estruturas topológicas que aparecem com freqüência na arquitetura de Normas Foster. Por exemplo, no edifício de apartamentos *Chesa Futura* (2000-2003).

O breve olhar para trás permite identificar como possíveis rastros analógicos das arquiteturas digitais a perpetuação da expressão tecnológica na imagem da arquitetura de vanguarda e o expressionismo formal experimental⁹⁰. Ignasi de Solà-Morales (1995) chamou essa tendência de “hipertecnologismo experimental”, baseada no seguinte modelo conceitual: “as novas tecnologias constituem o ponto de partida para novas arquiteturas. As sucessivas inovações técnicas seriam as alavancas das sucessivas inovações na

⁹⁰ Os movimentos de vanguarda do século XX foram marcados em parte pela tendência tecnológica, permanecendo orientados pela confiança no progresso tecnológico e o incentivo à ruptura das convenções em prol da originalidade como respaldo à busca por respostas às novas necessidades que a sociedade em constante progresso demandava, temperada pelo discurso da transgressão (Montaner, 1997). De acordo com o crítico de arte e arquitetura Josep Maria Montaner (1997), as criações das vanguardas artísticas e arquitetônicas do Século XX seguiram alguns princípios formais básicos, dentre os podem ser destacados a abstração e o caráter anti-referencial, o que significou a busca por formas novas, de inspiração abstrata; o culto à novidade, encarnado no ‘espírito dos tempos’ que encontraria na tecnologia o veículo de expressão; busca de formas dinâmicas e expressão formal; inspiração no universo da máquina e o uso da alta tecnologia como aliada.

[disciplina]" (Solà-Morales, 1995). O nosso imaginário recupera alguns motivos visuais mais emblemáticos do racionalismo moderno, na referência ao maquinismo e à emoção das máquinas. Nesta recuperação está implícita a reivindicação do espaço da utopia, da arquitetura como campo de conhecimento e proposta, além de seu inegável e muitas vezes obrigatório valor funcional.

Figura 4.3: Precedentes analógicos



"Não há nada de novo em enfatizar a relação entre tecnologia e arquitetura, nem há nada de novo na sugestão de que a arquitetura contemporânea pode ser caracterizada como produto de novas tecnologias no campo da construção. Pelo contrário, existe uma verdadeira tradição do novo (...) segundo a qual a inovação na arquitetura reflete as inovações técnicas que a inspiraram. Do pensamento progressista de Gottfried Semper de Eugène Viollet-le-Duc em diante, a relação entre a tecnologia e a arquitetura tem assumido desde a tradição moderna o papel cada vez mais fundamental. Tendo abandonado o discurso do estilo, a arquitetura dos tempos modernos é caracterizada pela sua capacidade de aproveitar as inovações que a ciência e a técnica do tempo presente oferecem como conquistas específicas desta mesma modernidade" (Solà-Morales, 1995).

Kolarevic (2003) relata que, no âmbito formal os arquitetos têm se colocado diante dos desafios da representação de formas orgânicas no plano cartesiano desde o período do Barroco, referidas por Rafael Moneo (in Davidson, 2001) como "as geometrias perdidas por causa da dificuldade de representá-las". A notória 'expressão formal' das arquiteturas digitais tem sido observada na arquitetura desde os anos 1920. No plano teórico-conceitual, Charles Jencks (2002) traçou paralelos entre as investigações científicas das ciências da complexidade e os discursos disparados contra o purismo moderno, desde os anos 1960 nas vozes de Jane Jacobs e Robert Venturi⁹¹ para delinear conceitualmente os pressupostos teóricos das arquiteturas digitais. Jencks (2002) desfila pela série de termos emprestados das ciências da complexidade para adjetivar as novas arquiteturas, tais como "arquitetura não-linear", "arquitetura fractal", "nova cosmogênese", "computer science architecture"⁹².

A partir de meados da década de 1990 e mais intensamente nos primeiros anos da década de 2000, foi observado o esforço por parte dos arquitetos de todo o globo em sistematizar tanto a produção arquitetônica efetivamente construída quanto o rico discurso teórico, refletindo a importância crescente deste campo o qual se tornou seminal durante a década de 1990. Isso foi traduzido na tentativa de (re)definir as bases teóricas, conceituais e metodológicas exclusivas das arquiteturas digitais. A profusão de eventos como congressos

⁹¹ Para Venturi (1995) foi Jacobs a primeira a trazer questões na escala da cidade com o livro *Morte e Vida nas Grandes Cidades* (1961). Tomando como objeto de análise sua própria vizinhança, em Nova York, baseada em suas próprias observações, Jacobs ponderou que a mistura de classes, idades, funções e estilos não leva ao caos que via Le Corbusier e sim à 'ordem complexa'. Para Jacobs de que a força da cidade está na combinação entre ordem e desordem, regida pela força irrefutável das leis de mercado. A retomada da discussão do par 'lugar e diversidade' no planejamento urbano incitada por Jacobs inspirou as teorias pós-modernas de planejamento urbano, as quais apontaram para o princípio de que os consensos contemporâneos fossem formados a partir de realidades locais e não da pressuposição de verdades universais. Robert Venturi direcionou seus questionamentos primordialmente ao objeto arquitetônico. Em *Complexidade e Contradição na Arquitetura* (1966) o autor se posiciona contra a simplificação modernista frente aos problemas da arquitetura. Para Venturi, havia muitas variáveis no projeto além daquelas que os modernistas se propunham a enfrentar.

⁹² Jencks (2002) aponta Peter Eisenman como um dos principais responsáveis pela introdução de conceitos oriundos das Ciências da Complexidade no vocabulário dos textos dessa nova arquitetura como, por exemplo, caos, morfogênese, fractais, sistemas auto-organizados, dobrás (folding), não-linearidade e acaso. Termos sempre presentes em projetos de arquitetura, como randomização, indeterminação, probabilidade e incerteza passaram a ter novos significados na disciplina sob a ótica das ciências da complexidade. Eisenman percebeu ainda no início dos anos 1990 que as novas tecnologias e meios de comunicação em massa funcionavam como importantes moldadores de pensamento que possibilitaram mudanças na filosofia e na sociedade.

e conferências⁹³, premiações internacionais⁹⁴, pesquisas universitárias⁹⁵, produção literária, exposições⁹⁶ e a produção de projeto resultante serviram como catalisadores durante este período para dar novos contornos ao domínio do projeto digital.

As crescentes pesquisas sobre o assunto na última década indicam que as mudanças estão se enraizando não só na aparência da arquitetura contemporânea, mas também no modo de pensar a arquitetura. Os avanços oriundos da integração entre tecnologias digitais e design arquitetônico impulsionaram o desenvolvimento simultâneo tanto do discurso teórico quanto das práticas de projeto. (Oxman, 2006). A consistência do movimento de mudança é amparada tanto pelas transformações observadas tanto nos processos de projeto inovadores quanto na expansão das fronteiras teóricas da disciplina. A aparente irreconciliabilidade entre os métodos tradicionais fomentada pelas novas possibilidades e demandas da era digital evidenciou a necessidade de composição de novos quadros teóricos e conceituais mais específicos, aplicáveis às arquiteturas digitais. Isso impulsionou teóricos a buscar em leques mais amplos do conhecimento o substrato teórico, com base em novos princípios generativos e novas bases filosóficas, conceituais e científicas.

A evolução da ‘morfogênese⁹⁷’ digital na última década consolidou as arquiteturas digitais como fenômeno singular dentro da Arquitetura, produzindo a classe de design arquitetônico único e específico. Tal evolução contribuiu para a formulação de teorias e práticas de projeto como produtos singulares oriundos de conceitos, lógicas, metodologias, conteúdos e modos exclusivamente digitais de interação entre processo e produto. Portanto, distintos das lógicas e métodos conceptivos convencionais assistidos por computador (Oxman, 2006).

Na prática de projetos, a postura mais experimentalista própria da cultura digital favoreceu a profusão de múltiplas abordagens metodológicas com base no digital. No esforço de apreensão das mudanças em curso, diversos pesquisadores empreenderam tentativas de categorizar a nova produção, privilegiando práticas onde se buscaram novas relações entre processo e produto. Dentre eles, podem ser citados os trabalhos de Branko Kolarevic (2000, 2003, 2005), James Steele (2001), Rivka Oxman (2006, 2008) e Kostas Terzidis (2003,

⁹³ Os congressos e conferências de maior relevo têm sido aqueles vinculados às sociedades ou associações de computação gráfica, como a Sigradi , ASCAD, ACADIA, eCAADe, CAADRIA.

⁹⁴ Pode-se destacar a FEIDAD – Far Eastern International Digital Design Awards.

⁹⁵ Nas escolas de arquitetura de ponta no mundo, como a AA Architecture School, MIT, Harvard, Columbia, Pratt Institute, Universitat Internacional de Catalunya, SCI-ARCH, Universität Kassel, entre outras.

⁹⁶ Cf. Oxman, 2006.

⁹⁷ Cf.r Kolarevic, 2000.

2006)⁹⁸. Apesar da pluralidade de abordagens, de modo geral esses arquitetos foram norteados por um ponto consensual: a possível mudança de paradigmas na arquitetura está na conjunção entre as mudanças metodológica e conceitual. Seja através da noção de “*formation models*” ou “DAD⁹⁹” de Oxman (2008), “*in-formation*” de Kevin Klinger (2005) ou “*form-finding*¹⁰⁰” de Branko Kolareric (2003), “a representação perde sua centralidade como base conceitual para a explicitação dos processos e conhecimentos relacionados à concepção digital” (Oxman, 2008). São esses princípios que têm delineado o mote investigativo da maior parte das pesquisas publicadas, sejam teóricas ou práticas.

Ao mesmo tempo, o discurso teórico tem sido fortemente motivado pelas transformações técnicas. As experimentações e transformações na prática de projeto originaram novas idéias sobre Arquitetura. No debate teórico, uma das questões principais esteve relacionada à tentativa de demonstrar a singularidade das arquiteturas digitais. Rivka Oxman (2006) observa que a evolução das abordagens teóricas tem sido influenciada por dois princípios básicos. O primeiro é demonstrar que os processos metodológicos dessas arquiteturas são exclusivamente digitais e capazes de produzir objetos singulares, portanto distintos das lógicas e métodos conceptivos convencionais assistidos por computador. O segundo é definir o conjunto de questões e conceitos que constituem o conteúdo teórico único das arquiteturas digitais¹⁰¹. A articulação entre esses dois princípios – caracterização metodológica e conteúdo conceitual – tem fornecido as linhas gerais para a delineação de novos paradigmas na Arquitetura apoiados nas tecnologias digitais (Oxman, 2006).

A necessidade de teorizar sobre suas práticas trouxe à luz novos conceitos baseados em observações, apropriações e experimentações particulares no reino digital, configurando um conjunto próprio de possibilidades dessa expressão. O desafio de provar que a geração da forma assistida por computador é válida enquanto possibilidade concreta dentro da disciplina questionou os laços tradicionais da arquitetura com as artes e a engenharia,

⁹⁸ Cf. Anexo IV.

⁹⁹ DAD – Digital Architectural Design.

¹⁰⁰ Conceito atribuído a Frei Otto.

¹⁰¹ É importante notar que as antologias teóricas publicadas a partir da década de 1990 excluem o projeto digital como ou as arquiteturas digitais como tema da arquitetura contemporânea. A antologia de Michael Hays, *Architecture Theory since 1968* (1998), é norteada pelo ponto de vista ideológico, onde o contexto computacional não é considerado. *Rethinking architecture: a reader in cultural theory* (1997) organizada por Neil Leach segue a mesma linha de debate crítico com ênfase em aspectos sociológicos. Da mesma maneira, *Theorizing a new agenda for architecture: na anthology of architectural theory* (1996) de Kate Nesbitt, lançada no Brasil em 2006 enfatiza as abordagens fenomenológicas e estruturalistas, ignorando o aspecto digital. No capítulo incluído na reedição do livro *História crítica da arquitetura moderna* de Kenneth Frampton (2008), o autor menciona alguns avanços conseguidos com o desenho assistido por computador, mas, como os demais, não entra no mérito do projeto digital.

testando mais uma vez a capacidade dos arquitetos em responder criticamente às mudanças tecnológicas de seu tempo.

A tentativa de demonstrar a singularidade do discurso digital se deu através do processo de reconsideração e reinterpretação de conceitos-chave do processo conceptivo e metodológico do design arquitetônico que foram centrais nos discursos teóricos anteriores, tais como representação, geração e interação (Oxman, 2006). Esse processo batizado de “trans-valoração de valores¹⁰²” (Oxman, 2006) buscou novas relações entre processo e produto, re-significando a ‘imagem arquitetônica’, que, mantendo-se como parte inerente e integrante do processo de concepção, alterou a sua base ontológica de representação (...), a partir do documento estático de duas dimensões para a entidade tridimensional com potencial de animação (...). Em vez de uma imagem idealizada, isso resulta em muitas morfologias potenciais” (Tierney, 2007).

Na aproximação do final da década de 2000, a fascinação pelas blobs passou e o questionamento sobre a validade das arquiteturas digitais volta à cena, com toda a sua complexidade. Oxman (2006) pontua que a grande massa de publicações tem como característica marcante a ênfase na documentação, explicação e interpretação dos objetos arquitetônicos, bem como em seus fundamentos. O discurso verborrágico, cheio de frases de efeito exaltando o potencial das ferramentas digitais nem sempre contribuem para a elucidação metodológica e conceitual das arquiteturas produzidas. Além do problema da diversidade, a sedução imagética causada pelas formas atraentes das arquiteturas digitais torna a incorporação do domínio intelectual à cultura arquitetônica uma dificuldade patente, sobretudo nas gerações mais novas, nascidas sob o estigma digital. Adicionado a esse quadro, o crescente interesse geral dos arquitetos na produção arquitetônica por meios digitais fez com que a produção realizada ao longo da última década emergisse como fonte ideológica significante para o design arquitetônico como um todo. Fato que exige de pronto o reexame das teorias e metodologias das arquiteturas digitais (Oxman, 2006).

Seguindo a tendência delineada na década de 1980¹⁰³, a presente investigação propõe que a análise metodológica de projeto como orientação de pesquisa pode trazer contribuições para a formulação do quadro conceitual relevante para as arquiteturas digitais. Como

¹⁰² No original em Inglês: “transvaluation of values”.

¹⁰³ Os estudos mais relevantes sobre metodologia de projeto, como as publicações de Bryan Lawson (2004, 2005) e Nigel Cross (1984), procederam à identificação e descrição dos princípios e processos de concepção, da natureza do conhecimento de design e das estruturas cognitivas do projeto.

preconizou Peter Eisenman (1999), “enquanto a análise formal é um método histórico-artístico válido, ele tende a ser meramente descriptivo – um exercício de ginástica intelectual”. Em função do escopo deste trabalho, o foco investigativo foi direcionado às técnicas fundamentais que estão por trás das arquiteturas digitais. Aquelas cujos princípios podem dar origens às diversas abordagens e apropriações por parte dos arquitetos, cada um a sua maneira, partindo da premissa de Francesco de Luca e Marco Nardini de que:

“Para desenvolver a consistência das ferramentas digitais e a unidade ao projeto, evitando a fragmentação em numerosos e diversificados tipos de conhecimentos técnicos que podem bloquear completamente o entendimento do processo de projeto, as oportunidades, prospectivas e vertentes do projeto arquitetônico devem ser analisados à luz dos correntes avanços no processamento de informações que interagem durante o projeto”.

Tomando as premissas de Luca, Nardini e de Oxman (2006) como válidas, de que os métodos de concepção de arquitetura com o auxílio do computador são exclusivos e únicos, é possível afirmar que houve uma **fratura metodológica** na arquitetura, onde as ferramentas digitais figuram como principais catalisadoras do processo de evolução **“das arquiteturas digitais para as arquiteturas geradas digitalmente”** (Klinger, 2005, grifo nosso). No campo teórico, essa fratura pode ser explicada pela mudança da abordagem ‘top-down’ para ‘bottom-up’, ou seja, a estratégia de projeto deixa de ser ‘de cima para baixo’ para se constituir como o processo ‘de baixo para cima’. Conforme explica João Rocha (2004) em sua tese de doutorado apresentada ao MIT, a chamada abordagem ‘top-down’ se concentra na transferência dos processos tradicionais para o domínio computacional. Nessa abordagem, o processo de projeto mantém sua verdade epistemológica. Em contraste, na abordagem ‘bottom-up’, buscam-se as lógicas internas à própria computação como fonte primordial para a criação de novos conceitos não necessariamente dependentes dos precedentes históricos arquitetônicos.

Na prática, isso significa que os arquitetos digitais não partem da repetição de configurações espaciais acumuladas em sua experiência projetual, como por exemplo, preconiza Herman Hertzberger no compêndio *Lições de Arquitetura* (1996). Ao contrário, as novas abordagens

“Mais do que corpos teóricos o que encontramos são situações, propostas de modo que têm buscado sua consistência nas condições particulares de cada acontecimento. Também não tem sentido falar de razões globais nem raízes profundas. Uma heterogeneidade difusa enche o mundo dos objetos arquitetônicos. Cada obra surge do cruzamento de discursos, parciais, fragmentários. Parece cada vez mais que estamos confrontados não tanto com uma obra de arquitetura como um ponto de interseção, a interação de forças e energias provenientes de diversas localidades, cuja deflagração momentânea explica uma situação concreta e particular de arquitetura, ação e produção” (Solà-Morales, 1995)

sugerem o olhar para dentro do processo de cada projeto em particular, na busca pelo significado que se constrói como um código peculiar e próprio, particular em cada caso. Portanto, “não se trata do uso de códigos estilísticos, de imagens através das quais o edifício seja reconhecido como caso particular de uma linguagem comum, mas sim a busca, em cada caso, para cada obra, da presença e manifestações que lhe são próprias” (Solà-Morales, 1995).

No contexto da nova produção, duas estratégias técnicas tornaram-se particularmente importantes e tem servido de base para diversas abordagens metodológicas distintas: a **paramétrica** e a **algorítmica** (Meredith, 2008). De acordo com o que foi visto até aqui, ao longo de quase toda a década de 1990, as técnicas paramétricas e algorítmicas foram empregadas de modo geral com abordagens artísticas, como por exemplo, nas arquiteturas experimentais de Marcos Novak, Greg Lynn e John Frazer, ou para resolver problemas pragmáticos como no caso de Frank Gehry. A partir do final da década de 1990, e mais intensamente nos anos 2000, essas técnicas começaram a ser empregadas como estratégias geradoras da forma, em projetos exequíveis. Como explica Therese Tierney, conceitualmente essa ‘fratura metodológica’ ocorreu “durante a geração da forma arquitetônica, através da imposição de parâmetros ou restrições em vários estágios onde uma determinada proposta pode, então, gerar qualquer número de variações por meio de processos algorítmicos” (Tierney, 2007). Como resultado, os arquitetos têm à mão grande número de composições formais potenciais.

É importante, contudo, reforçar a distinção entre as duas estratégias. Segundo a definição de Michael Meredith (2008, grifo nosso), a concepção paramétrica “é o processo [iterativo] baseado não em quantidades métricas fixas, mas nas relações consistentes entre objetos, permitindo que as mudanças em um único elemento sejam propagadas por todo o sistema.” Já o processo algorítmico é definido pelo mesmo autor como sendo: “o processo que permite o surgimento de formas complexas por meio de métodos iterativos simples enquanto as qualidades específicas são preservadas”.

Embora ambas sejam técnicas para produzir arquiteturas potencialmente complexas, a diferença entre método *iterativo* e *iterativo* é fundamental. O processo paramétrico é *iterativo* porque durante a manipulação das propriedades geométricas da forma o software confere ao usuário o feedback visual instantâneo, ou seja, é uma ação recíproca entre modificação do parâmetro e alteração da forma. Já o termo *iteração*, sinônimo de ‘repetição’ é oriunda da Informática e designa o processo de resolução – de uma equação ou de um

problema – mediante uma seqüência finita de operações em que o objeto de cada uma é o resultado da que a precede.

Quando desenhamos uma linha em AutoCAD, por exemplo, o software nos pede para especificarmos o ponto inicial. Na sequência, se digitarmos um valor qualquer e pressionarmos ‘Enter’, o software desenha a linha com a dimensão especificada. Quando o comando ‘linha’ é acionado, um algoritmo é disparado. Esse algoritmo é programado para ter esse comportamento específico: solicitar ponto inicial; se digitar @x,y, considerar como ponto inicial; depois do ponto inicial, se digitar número, considerar como dimensão; se clicar novamente, considerar como segundo ponto; ‘Enter’ finaliza o processo. Cada ação é precedida pelo output da anterior.

Agora, se considerarmos que, associada ao comando ‘Linha’ haja uma regra restringindo a dimensão da linha para que seja sempre maior que duas unidades, por exemplo, temos uma regra de restrição aplicada. Nesse processo o usuário *interatua* com a mídia, mas não de maneira direta como nos processos paramétricos. Se o resultado não for satisfatório, o usuário reinicia o algoritmo alterando os inputs necessários. As modificações serão recalculadas no software, do qual surgirá um novo output para reavaliação. O usuário pode alterar o código do script, isto é, as linhas de programação para reescrever as regras. É necessário disparar novamente o algoritmo e avaliar seu output e assim por diante. Nos processos algorítmicos, os designers podem programar os softwares específicos com regras descritivas muito mais complexas que o exemplo simples da linha para gerar formas inteiras por meio de algoritmos.

Nesse sentido, a nova modalidade de uso de algoritmos na arquitetura induz ao aprofundamento da noção de ‘processos generativos’, ou seja, o designer *atua e modifica* diretamente o sistema de geração das formas por meio de algoritmos. Os ‘processos generativos’ podem ser entendidos como o produto da “projetação de ou a interação com a emergência de formas derivadas de regras, relações e princípios generativos. A interação tem grande prioridade nesse processo, já que nas técnicas generativas, existe a necessidade de o usuário interagir constantemente com o sistema, alterando as regras para atingir certas soluções desejadas” (Oxman, 2006).

“Quebrando radicalmente as tradições seculares e normativas de desenho arquitetônico, as formas geradas digitalmente não são concebidas ou elaboradas no modo convencional de compreensão destes termos. No lugar de adotar um *partido*, o designer se utiliza de um sistema gerativo para produzir a forma cujo comportamento durante o processo de intervenção das operações digitais pode ser controlado, e seleciona as formas que emergem das operações do sistema. A ênfase se desloca de ‘fazer uma forma’ para a ‘encontrar uma forma’ baseada em várias técnicas geradoras.” (Oxman, 2006).

Tanto nos processos algorítmicos quanto nos processos paramétricos, não há nada automático ou determinístico entre ação humana e reação do software. Por conta disso, são criados “campos de indeterminação” (Kolarevic, 2000) a partir dos quais as novas formas emergem. Apesar do domínio parcial do designer sobre a forma, a geração dessas novas arquiteturas é altamente dependente das habilidades do seu criador. De acordo com o pesquisador Robert Aish (2005), uma das chaves que reforçam o argumento de houve uma ‘fratura metodológica’ é a manipulação indireta da forma que causa a dicotomia “controle das regras geradoras da forma versus resultado formal” (Aish, 2005). Segundo o autor, as novas estratégias de geração da forma por parametrização e algoritmos são caracterizadas pelo grau crescente de “níveis de indeterminação no output da forma final que paradoxalmente são acompanhados pelo alto nível de expressão e controle sobre as regras geradoras da forma” (Aish, 2005). Por isso, muitos pesquisadores falam em ‘desenhar as condições do projeto’ no lugar de desenhar o projeto propriamente.

Embora o foco dos processos paramétrico e algorítmico esteja na geração da forma, deve-se notar que qualquer método de concepção exibe tensão entre suas limitações e suas liberdades, seja ele analógico ou digital. O que é significativo, porém, sobre a produção de formas algorítmicas e parametrizadas é que a grande vantagem desses sistemas quando aplicados com intuito gerativo é o aumento da probabilidade de ocorrências aleatórias resultando no maior número possível de versões do mesmo objeto, dentro da mesma intenção formal original. Esses sistemas generativos complexos permitem que o designer “aja como editor e aplique escolhas intuitivas, divergentes ou estéticas, de modo a manipular tanto o modelo quanto desenvolver opções adicionais (ou descendentes) para, posteriormente, selecionar entre elas. Nesse sentido, pode-se concluir que certas qualidades virtuais ou potenciais podem emergir da interação entre esses sistemas” (Tierney, 2007)¹⁰⁴.

¹⁰⁴ Referências importantes sobre esses sistemas podem ser encontradas em publicações recentes como *Architecture in Digital Age* (Kolarevic, 2003), *Algorithmic Architecture* (2006) e *Algorithms for Visual Design* (2008) de Kostas Terzidis, *Parametric/ Algorithmic Architecture* (2008) de Michael Meredith, *Tooling* (2006) de Benjamin Aranda e Chis Lash, entre outros.

"Podemos caracterizar o projeto como algo diferente de 'craft' (porque o designer não age diretamente sobre o material, mas a partir do modo indireto e mais poderoso de controle da materialização). De maneira similar, devemos caracterizar o projeto assistido por computador como algo diferente do projeto convencional (porque o designer não desenha a geometria diretamente, mas a partir do modo indireto e mais poderoso de controlar a geometria utilizando-se de ferramentas digitais)" Aish, 2005).

Assim como os arquitetos devem estar habilitados a manejar suas ferramentas para manter suas "conversas" com os objetos em projeto (Lawson, 2004), as novas ferramentas digitais requerem novos protocolos de interação e instrumentalização com o designer. De modo geral, além da proficiência em computação, a utilização dessas estratégias ordena certas 'competências digitais' tais como noções de composição, gráficos vetoriais, manipulação de imagem, modelagem de superfície, modelagem de sólidos, edição de vídeo, renderização, animação, operações de banco de dados, interface com web, e além de conhecimentos de geometria e afins. A lista cada vez maior e mais exigente em habilidades múltiplas não significa o desenvolvimento da destreza computacional em detrimento de posicionamento crítico. Segundo a recomendação do arquiteto Kevin Klinger (2005), "devemos considerar cuidadosamente as orientações de projeto para este realmente se constitua como arquiteturas geradas digitalmente" (Klinger, 2005). Nas seções abaixo, serão demonstrados alguns exemplos de estratégias de geração da forma dentro dessas duas categorias técnicas básicas.

Os congressos anuais de sociedades de gráfica digital e computação, além de periódicos especializados como Design Studies e International Journal of Architecture Computing têm se prestado à divulgação de diversos casos de estudo e aplicações das arquiteturas algorítmicas e paramétricas.

4.1 As modalidades digitais

As técnicas paramétricas e algorítmicas deflagraram diversas novas direções na metodologia de projeto assistido por computador. Conforme mencionado anteriormente, um dos procedimentos mais comumente aplicados para sistematizar essa produção é a categorização de obras, sejam elas teóricas ou práticas. No estado atual da produção, com o número crescente de adeptos, entre pesquisadores e profissionais, seria impossível falar de todas¹⁰⁵. O resultado são as múltiplas abordagens particulares que “relatam experiências

“O ato de classificar as coisas é quase uma definição da civilização. De nossas tentativas desesperadas para entender o caos que nos cerca, encontrando sistemas de classificação. Seja a grande teoria da relatividade ou apenas uma lista telefônica. Fiz um filme chamado “H’s for House” (1973) que reuniu todos os conceitos e idéias que estavam ligados apenas por sua letra inicial. Idéias como H de happiness, health, hemorragia, hemofilia, honraria, hemisfério, humilhar... Honraria, humano, horror, histerectomia, hell, hamster... A única coisa pela qual estas coisas estão reunidas é a estupidez de um sistema. Muitos destes sistemas desesperados que usamos para classificar nosso universo são extremamente absurdos. Mas eles são necessários para se tabular, para nos dar ao nosso senso de história um método. Para dar à nossa memória algo a que se apegar. Portanto, a matéria-prima que eu utilizo é a base do que está presente na idéia de classificação em suas mais amplas possibilidades” Peter Greenaway, diretor de cinema no documentário “Number Zero”.

e processos particulares” (Arnal in Dollens, 2003), seguindo a tendência da prática contemporânea arquitetônica (Solà-Morales, 1995). Como observa Jean-François Bassel (in Kolarevic; Malkawi, 2005), “arquitetos que compreendem e aceitam o poder e a responsabilidade formidáveis que vêm junto com tecnologia moderna têm a grande vantagem em estabelecer os seus próprios métodos para a concepção de edifícios hoje”.

As categorizações direcionadas especificamente ao fenômeno digital, como as de Kolarevic (2000), Oxman (2006, 2008) e Kostas (2003, 2006)¹⁰⁶ podem ser utilizadas como ‘índices conceituais’, a partir dos quais torna-se possível traçar algumas tendências metodológicas de geração da forma, fundamentadas nas técnicas exclusivamente digitais. Com a extração dessas ‘linhas-guia’ é possível obter um mapa com que se basear para compreender algumas aproximações dessas novas metodologias. Do discurso desses arquitetos, podemos identificar quatro tendências

¹⁰⁵ A título de curiosidade, a base digital de artigos CUMINCAD sobre o macro-assunto arquitetura e computação registrou em janeiro de 2010 a marca de 9.500 registros de publicações.

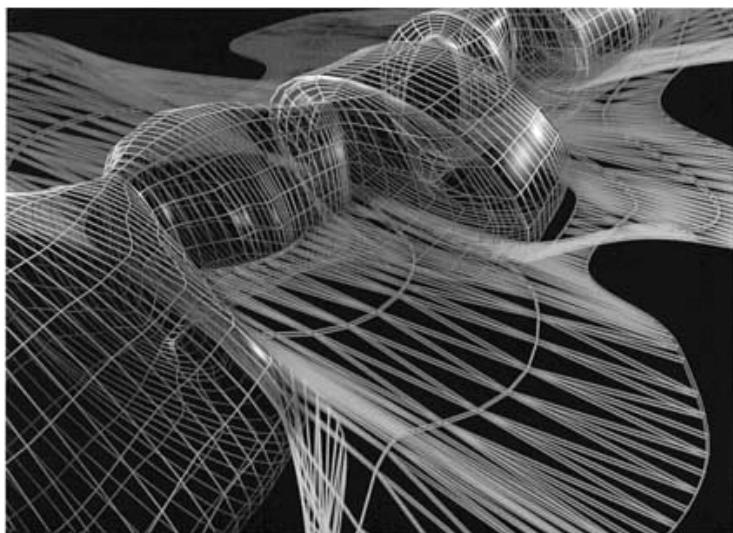
¹⁰⁶ Cf. Anexo III.

principais de metodologias das arquiteturas geradas digitalmente, a saber: **paramétrica, algorítmica, gramática da forma e baseada em desempenho**.

4.1.1 Arquitetura Paramétrica

Pode-se chamar “arquitetura paramétrica” (Kolarevic, 2000) como a arquitetura que usa a parametrização como base técnica para gerar formas digitalmente. Reiterando os princípios de parametrização vistos ao longo da dissertação, os ‘parâmetros’ são aspectos do projeto traduzidos em números que são conectados às entidades geométricas do modelo digital. Essas entidades podem ser conectadas entre si, estabelecendo relações geométricas entre objetos. Projetar com parâmetros exige o estabelecimento da série de princípios paramétricos e a criação do modelo que inclui elementos geométricos definidos por suas variáveis mutáveis, agindo como um sistema de informação interligado.

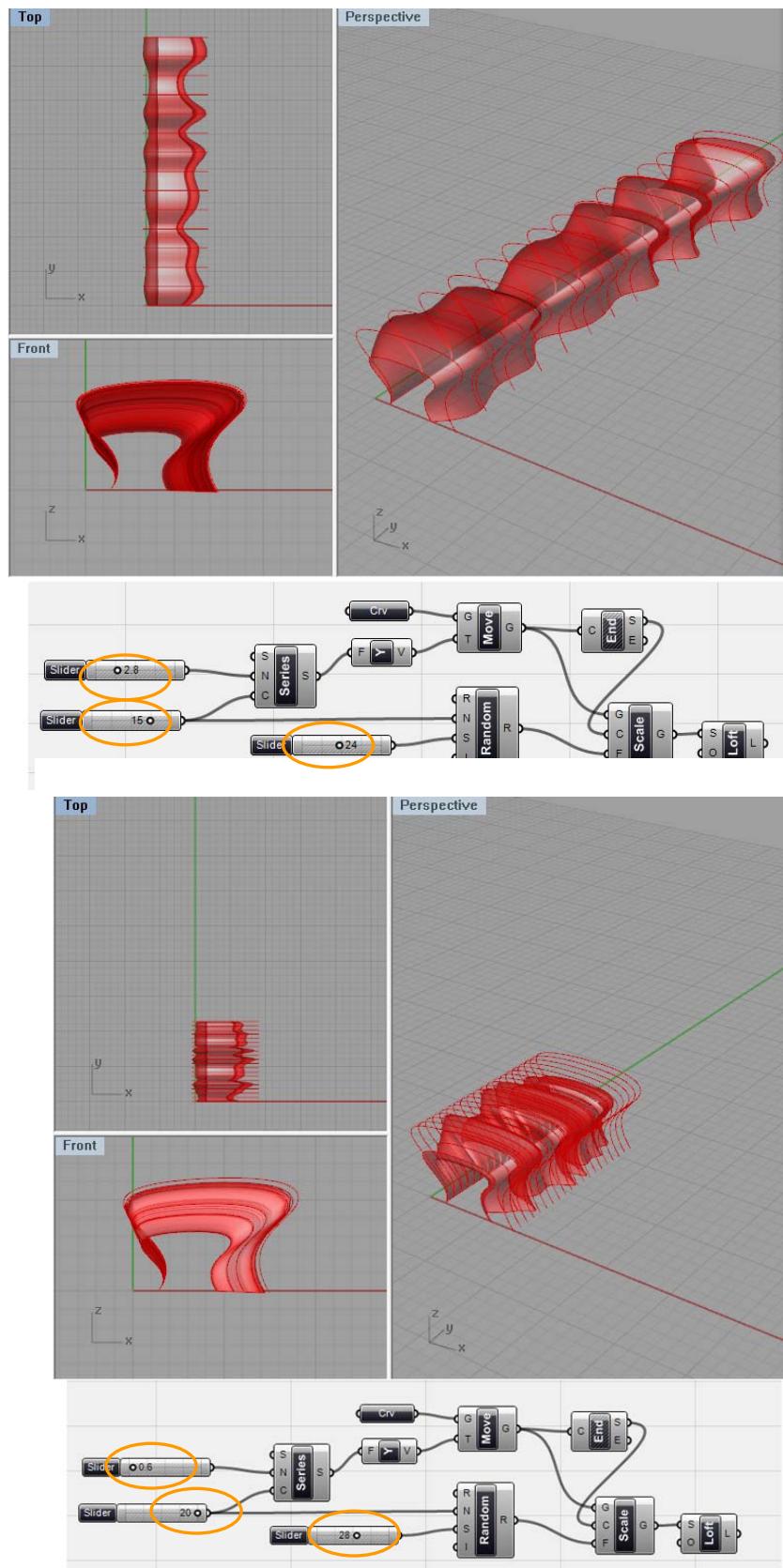
Figura 4.4: Lehrter Bahnhof, Berlin, 2002, Pongratz Perbellini Architects (Kolarevic, 2003)



Um exemplo desse entendimento pode ser experimentado no projeto *Lehrter Bahnhof* (2002) para Berlin, imaginado pela Pongratz Perbellini Architects. Essa forma pode ser obtida pela construindo curvas nurbs intermediárias que são unidas pelo comando ‘loft’. A inclusão do parâmetro ‘random’ na definição paramétrica insere uma variável cuja manipulação permite a geração de formas inesperadas.

Figura 4.5: Loft randômico da curva

Aplicando-se a variável ‘random’ à escala da curva, o software altera as dimensões da curva inicial, gerando interpolações randômicas ao comando ‘loft’. Modelo: Verônica Natividade.



O modelo digital pode ser gerado integralmente por relações paramétricas, inclusive a geometria básica da forma. O usuário deve ter bons conhecimentos de geometria para conseguir interpretar quais parâmetros são necessários para gerar a forma desejada, da mesma maneira que sabemos que para gerar um plano são necessários três pontos no espaço. A manipulação dos parâmetros incorporados a este sistema oferece a possibilidade de obter vários ajustes do modelo seguindo a mesma orientação básica de intenção do projeto. O modelo paramétrico atua como um conjunto que tem a capacidade de reagir às alterações específicas que ocorrem em suas partes. Nesse sentido, a modelagem paramétrica torna-se "inestimável, tanto para estudos preliminares e quanto para estágios mais desenvolvidos do projeto, onde há a necessidade de definição, manipulação e visualização de geometria complexa" (Burry; Murray, 1997).

A parametrização é uma técnica que fornece instrumentos precisos para o controle holístico dos objetos, mas também fornece possibilidades de criação por meio da manipulação dos parâmetros. Ao gerar o modelo paramétrico que contenha todos os dados geométricos e associativos passíveis de serem ajustados e atualizados em versões diferentes, o usuário tem uma base com a qual projetar que lhe oferece múltiplas possibilidades de uma única vez, incluindo aquelas possibilidades inesperadas. O mais importante é a habilidade de definir, determinar e reconfigurar as relações geométricas no modelo digital (Burry, 1997).

Figuras 4.6: Serpentine Gallery Pavilion 2005, Álvaro Siza e Eduardo Souto de Moura (Meredith, 2008)

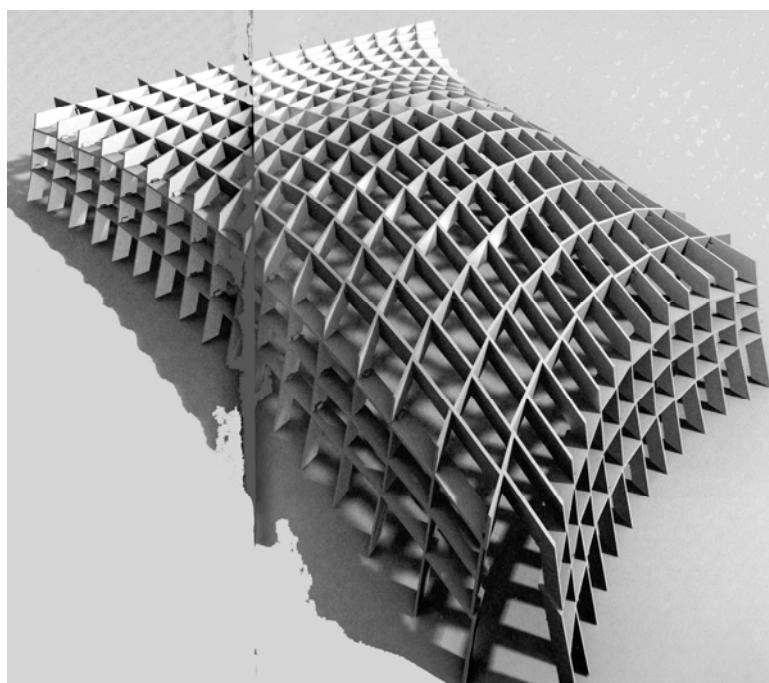
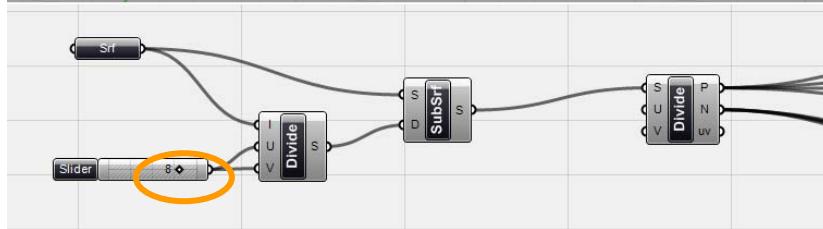
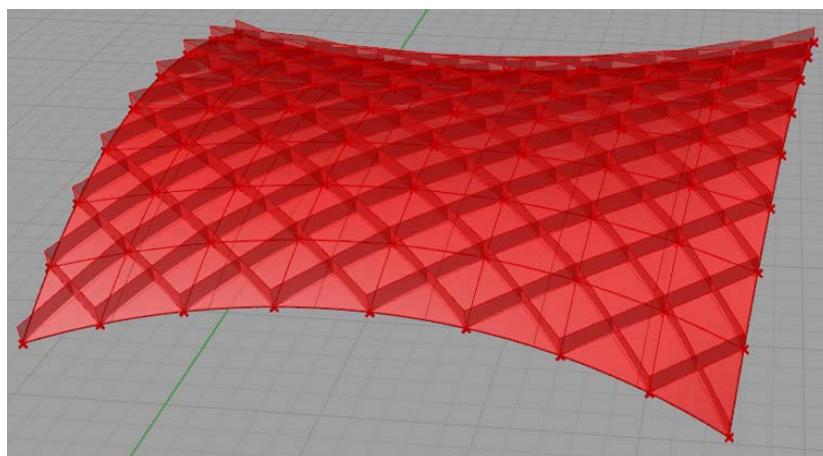
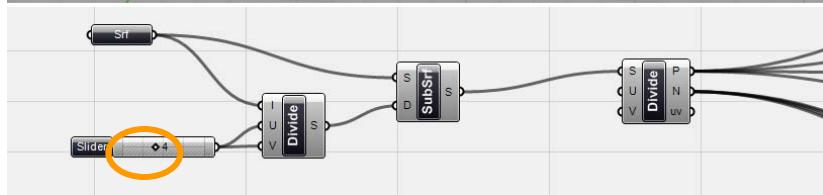
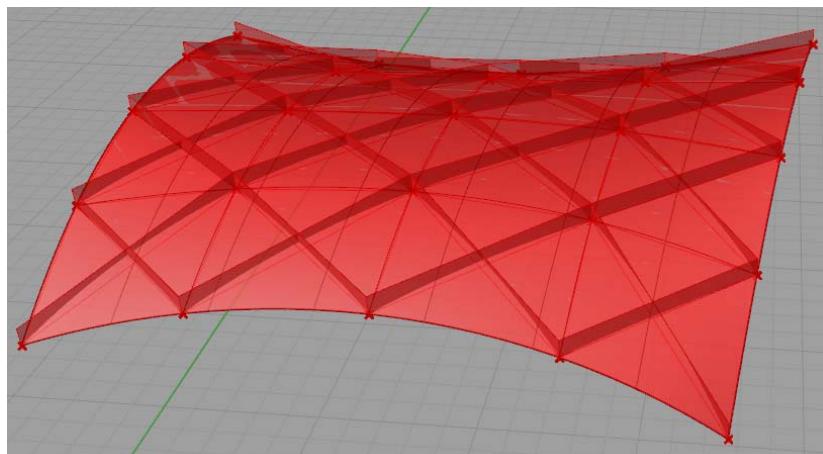


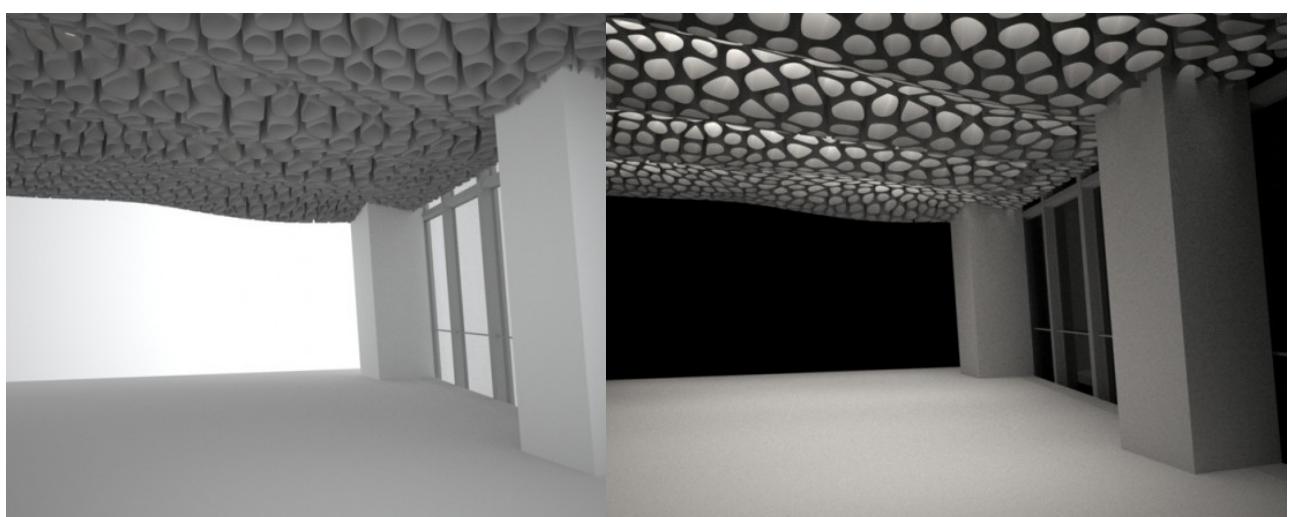
Figura 4.7: Variação paramétrica da triangulação de uma superfície

A subdivisão paramétrica da curva permite que as dimensões das ripas, por exemplo,



A modelagem paramétrica pode ser entendida como uma “técnica de convergência” (Schnabel, 2007), como o colapso entre diferentes sistemas de representação: aqueles destinados a desenvolver a criatividade como nas Artes e aqueles que realizam as tarefas de análise e descrição de objetos, como nas ciências. Tal convergência pode estimular o surgimento de possibilidades com valor artístico por meio de seus próprios mecanismos de controle que fornecem o ponto de encontro entre os processos “intuitivo, perceptivo e de estruturação do conhecimento” com os de “conhecimento lógico voltados para o controle material necessário à construção” (Schnabel, 2007). Essa discussão se torna mais complexa quando se comprehende que o princípios por trás da estratégia paramétrica representam interessante discussão semiótica: o debate que decorre da relação entre o sistema de revisão das representações colapsadas em um único modelo paramétrico e o objeto arquitetônico desejado, agora transformado em um conjunto de possíveis versões desse mesmo objeto¹⁰⁷ (Schnabel, 2007).

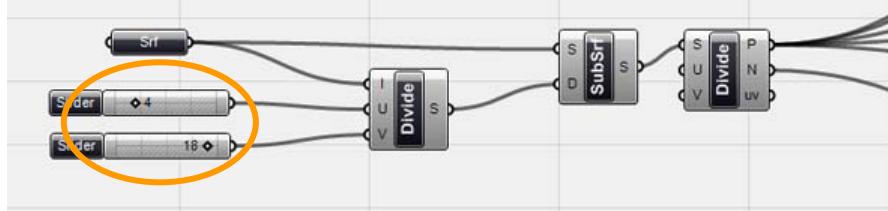
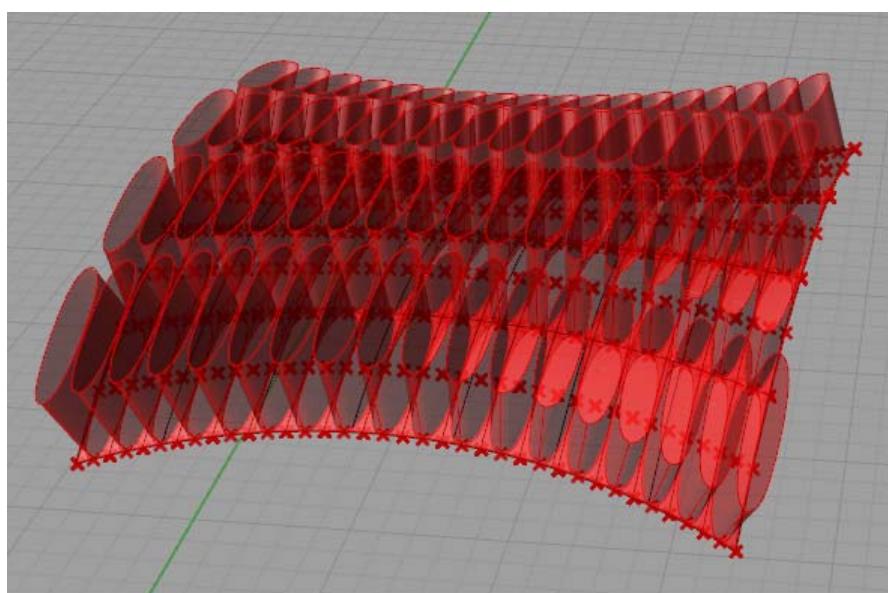
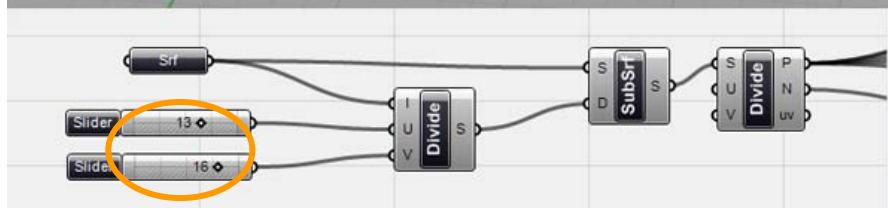
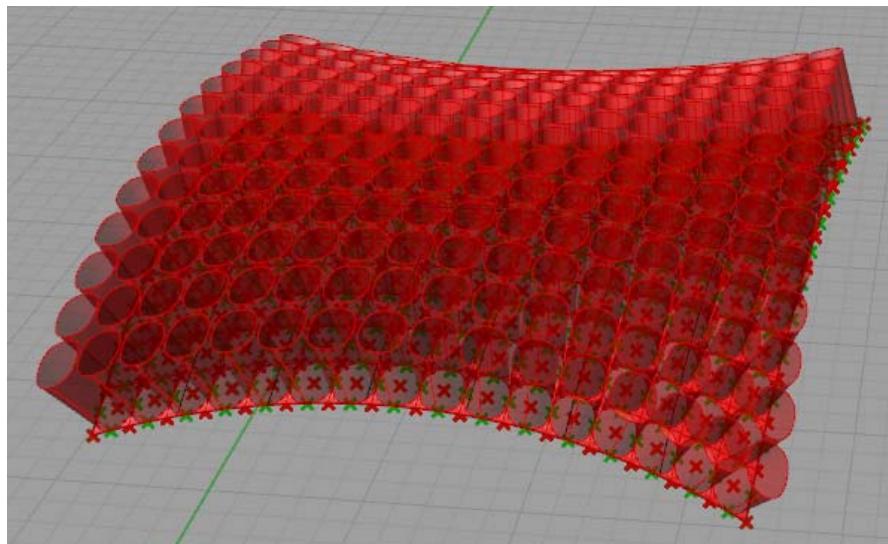
Figura 4.8: Smartcloud, Andrew Kudless, Nova York, 2007.



¹⁰⁷ Assim como foi visto no Capítulo 3 desse trabalho, os modelos paramétricos também resguardam outro tipo de convergência: a fusão de informação, tanto físicas e virtuais em um único modelo paramétrico.

Figura 4.9: Variação paramétrica de elementos aplicados sobre uma superfície

Modelo: Verônica Natividade.



4.1.2 Arquitetura Algorítmica

Como foi visto no Capítulo 2, ‘algoritmo’ pode ser qualquer lista de passos para realizar uma tarefa. Uma receita culinária pode ser considerada um algoritmo. Nas ciências da computação e nas arquiteturas geradas digitalmente, os algoritmos se implementam por meio de programação. Porém neste contexto, quando se fala de algoritmo geralmente se fala de um script ou de seu conteúdo em função da geração de soluções na arquitetura ou no design. Portanto, o termo ‘arquitetura algorítmica’ é empregado nesta dissertação para especificar o tipo de arquitetura gerada em software de edição de linguagem de programação.

Para facilitar a abordagem ao processo algorítmico, Robert Aish (2005) identificou três temas fundamentais que correspondem a aspectos operativos do processo algorítmico. O primeiro é a noção de “controle [indireto] por meio de dependência geométrica”. Consiste na descrição da geometria “que nunca será construída ou vista”, mas que controla indiretamente o que será construído. Esse tipo de controle torna possível explorar variações do projeto e novas soluções espaciais e partir daí ‘encontrar’ uma configuração que valha sua construção. O segundo é a decomposição do objeto intencionado em partes ou componentes que podem ser descritos nas regras. Por exemplo, uma casa simples pode ser decomposta em quatro paredes, uma porta, uma janela e um telhado. Estes elementos básicos serão incluídos como entidades nos códigos dos scripts. Terceiro e último é o pensamento algorítmico propriamente dito, isto é, “o desejo de explorar utilizações geométricas que vão além do que ‘coordenação mão-a-olho’ pode oferecer”. Em outro nível é o desejo de aplicar idéias de ‘consistência’ ou ‘imprevisibilidade’ controlada sobre grande conjunto de informações (...). Essencialmente, essa geometria não pode ser desenhada. Ela deve ser computada. Se deve ser computada, então tem que ser por meio de um algoritmo” (Aish, 2005).

Os elementos lingüísticos básicos dos algoritmos podem ser constantes ou variáveis e os procedimentos são divididos em classes e bibliotecas. As operações básicas são aritméticas, lógicas, combinatórias, relacionais e classificatórias, organizadas em regras gramaticais e sintáticas específicas. Estes elementos e operações são concebidos para abordar a natureza numérica dos computadores e, ao mesmo tempo, proporcionar os meios para compor padrões lógicos por meio de descrições métricas. Estes princípios são usados para compor diversos tipos de algoritmos que servem a diferentes propósitos e intenções.

Geralmente os algoritmos definem certas propriedades básicas do objeto que serão preservadas ao longo do processo, embora não seja possível predizer exatamente a forma final. O designer não parte de uma forma pré-estabelecida, mas de regras que regem a forma. Portanto, o grau de indeterminação é muito maior que no processo paramétrico. Em outras palavras, o arquiteto tem domínio sobre as regras do sistema, mas não sobre as formas geradas. Mas diferentemente da noção de ‘caos’, os resultados são fruto do rearranjo randômico de elementos que são conectados por regras que governam todo o sistema. Utilizar valores diferentes nas etapas do mesmo algoritmo pode resultar em produtos totalmente distintos (Terzidis, 2006).

Enquanto o imprevisível nas ferramentas tradicionais se limita geralmente a aspectos mecânicos, a imprevisibilidade entre dados de input e output se dá em nível altamente abstrato, a partir de lógicas específicas da computação. Neste caso, o computador funciona como a ‘caixa preta’ do processo porque o sistema realiza a escolha randômica dentro do conjunto de regras, cada uma com certo número de possibilidades que, por análise combinatória, quando combinadas podem resultar em milhares de outputs diferentes (Terzidis, 2006). Dada a capacidade de processamento do computador, os algoritmos podem gerar soluções inovadoras, porque o computador testa em pouco tempo todas as combinações possíveis para as regras estabelecidas nos scripts. Por esta razão, com freqüência nos deparamos com argumentos de que a máquina “gera formas inimagináveis por designers humanos” (Terzidis, 2006).

Em função da capacidade de processamento do computador, os algoritmos podem gerar soluções inovadoras, talvez além da capacidade humana de imaginação porque o computador testa em pouco tempo todas as combinações possíveis para as regras estabelecidas nos scripts. Além da óbvia capacidade de cálculo, a imprevisibilidade entre dados de input e output, que se dá em nível altamente abstrato, desafiando nichos tradicionais de projeto, como tomada de decisão, criatividade, intuição, intenção e controle. A partir desses princípios básicos, Terzidis argumenta que os computadores complementam o raciocínio humano, porque oferece perspectivas distintas do mesmo.

Em teoria, enquanto um problema pode ser definido em termos lógicos, a solução pode ser determinada a partir da identificação e decodificação correta das questões e demandas que envolvem determinado problema. O computador pode ser empregado como o agente que interpreta a lógica e o algoritmo é o veículo, o mediador entre a mente humana e a mente processadora (Terzidis, 2006). Em casos onde a solução é desconhecida, vaga ou mal

definida, os algoritmos são poderosas ferramentas para testar incontáveis possibilidades de solução. Quanto mais completas as descrições mais ricos são os outputs. Por exemplo, na descrição de um algoritmo para gerar um quarto, podemos considerar que essa tarefa envolve simplesmente a determinação de quatro paredes, uma porta e uma janela, ou podemos considerar uma série de regras para definir exatamente as dimensões e a configuração do quarto, como por exemplo, se incide sol pela manhã, a posição relativa entre corredor e o banheiro para estimar eventuais cruzamentos da circulação e assim por diante.

Quando determinado algoritmo é descrito, a equação pode ser direcionada em dois caminhos: para simular como um humano ressolveria o problema ou como um computador poderia interpretar o mesmo problema. No primeiro caso, o algoritmo é a versão racionalizada do pensamento humano. Desse modo, pode ser caracterizado como preciso, definitivo e lógico, mas ao mesmo tempo lhe faltam certas habilidades consideradas únicas da expressão humanas como imprecisão, ambigüidade e ambivalência. A expressão lingüística humana é muito mais sofisticada e cheia de nuances, enquanto que a linguagem binária do computador só pode interpretar se for programada para tal. Terdzis (2006) oferece um exemplo simples, mas bem elucidativo. A frase “o homem vê o macaco em seu pijama” pode tanto significar que o homem veste pijamas e observa o macaco quanto o absurdo possível de que o macaco observado pelo homem veste pijamas.

A tradução da frase em linguagem de programação significa que a natureza explícita dos dados de entrada que compõem um algoritmo não necessariamente refletem o caráter explícito do resultado obtido. Esse exemplo serve também para ilustrar a natureza não linear do pensamento humano. Fazendo uma analogia no reino da arquitetura, é possível produzir formas geometricamente ambíguas a partir da composição de sólidos platônicos bem definidos. Neste caso não existe relação linear de causa-efeito, ou seja, o fato dos elementos da linguagem, ou mesmo a sintaxe ser racional não significa necessariamente que o produto também seguirá a mesma tendência, isto é, será racional (Terzidis, 2006).

No segundo caso, o algoritmo pode ser visto como a expressão lingüística própria do computador ou adaptada a ele. Dessa forma, a alimentação de dados no computador torna necessário o ajuste do modo de raciocínio humano ao da máquina.

A maneira inovadora de empregar algoritmos na arquitetura está na aplicação de metodologias que possam operar de modo similar, paralelo e complementar ao raciocínio

humano e não para copiar, simular ou substituir métodos de projeto convencionais. Enquanto designers falham em computar dados excessivamente numerosos, os computadores falham por não serem capazes de lidar com tudo que pertence ao reino do subjetivo, como o vago ou o ambíguo. Usando o potencial criativo humano e a capacidade de processamento computacional de maneira sinérgica e complementar pode levar à produção de novos conceitos, idéias e formas. Dada a natureza distinta de raciocínios, essa sinergia só é possível através dos algoritmos. Nesse sentido, algoritmos podem ser vistos como ferramentas de projeto que podem levar à produção de formas originais, mas também novos conceitos e idéias.

Figura 4.10: Algoritmo para geração de espiral

Algoritmo: Ernesto Bueno e Verônica Natividade

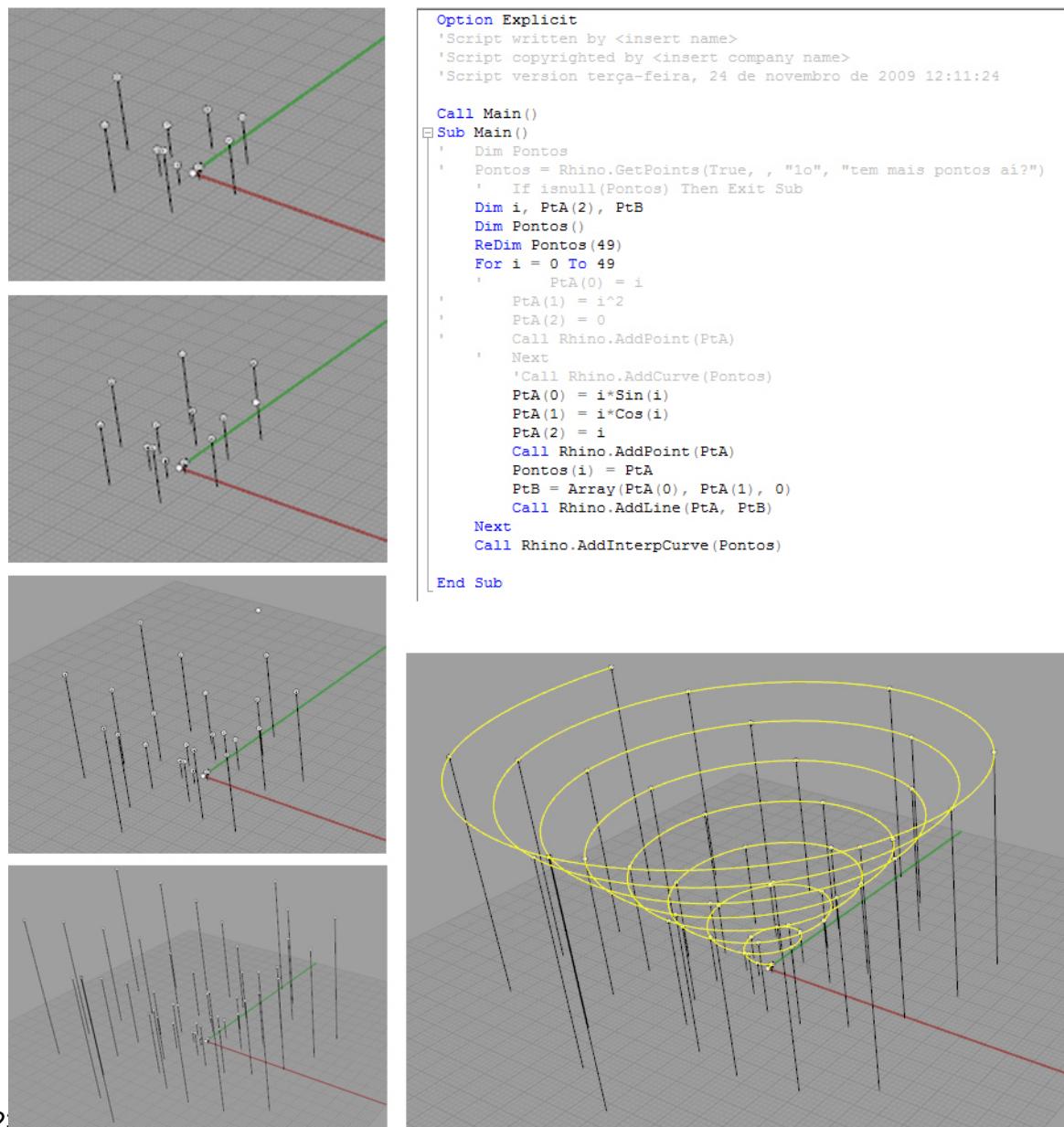


Figura 4.11: Mile Spiral, Benjamin Aranda e Chris Lasch (2006)

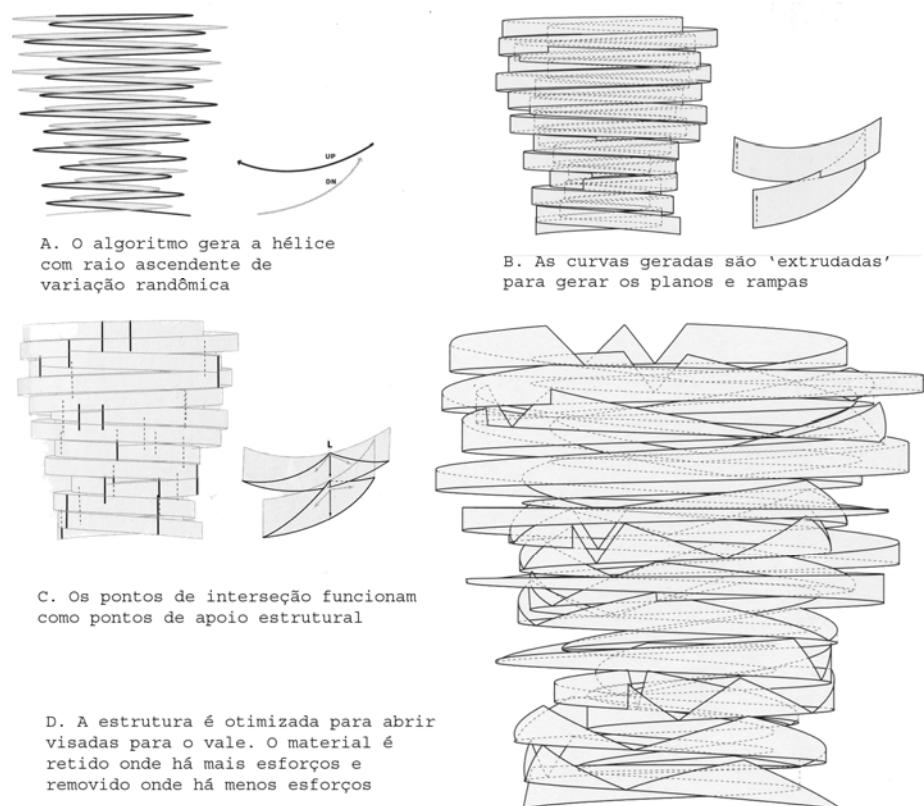


Figura 4.12: Mile Spiral, Benjamin Aranda e Chris Lasch (2006)



Existem diversos tipos, maneiras e técnicas para se gerar um algoritmo. De modo geral, o computador gera uma população de soluções possíveis dentro das regras estabelecidas no sistema. O designer escolhe algumas soluções e as usa como base para modificar e originar uma segunda ‘geração’. O processo evolui por meio de repetições do procedimento até que o designer encontre uma solução que julgue satisfatória. Por esta razão se chama ‘**processo evolutivo**’. Apesar de teoricamente simples, nem sempre é prático, porque o número de repetições pode ser grande, assim como o número de outputs a ser avaliado.

Na “arquitetura evolutiva” (Kolarevic, 2000), a forma ‘emerge’ do processo de constante evolução da forma por meio do refinamento do modelo no processo algorítmico (Frazer, 1995). O processo se dá por meio da geração da população de soluções dentre as quais o designer escolhe algumas que serão escolhidas para continuar o processo evolutivo. A ‘evolução genética da forma’ é baseada em regras que definem o ‘código genético’ da família de objetos similares. A analogia com os aspectos evolutivos biológicos faz com que esse tipo de processo também seja chamado de ‘genético’. As questões fundamentais do uso de algoritmos genéticos para geração da forma são definir corretamente as regras que vão gerar as formas e definir como será sua evolução e desenvolvimento de modo que possam ser mapeados em contextos específicos. Em outras palavras, “no processo evolutivo, as formas eleitas para evoluir podem ter seu desempenho avaliado dentro de ambientes de simulados” (Oxman, 2006). Ou, como disse Frazer:

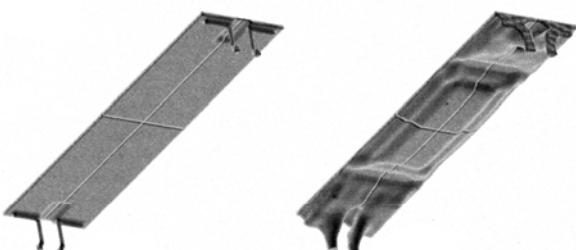
"os conceitos arquitetônicos são expressos como regras geradoras de modo que sua evolução e desenvolvimento podem ser acelerados e testados com o uso de modelos de computador. Os conceitos são descritos em uma linguagem genética que produz um script código de instruções para a geração da forma. Os modelos de computador são usados para simular o desenvolvimento de formas prototípicas que depois são avaliadas com base no seu desempenho em um ambiente simulado. Um grande número de passos evolutivos pode ser gerado em um curto espaço de tempo e as formas emergentes são muitas vezes inesperadas" (Frazer, 1995).

No processo evolutivo, a questão central é a modelagem da lógica interna, em vez de forma externa. Vários parâmetros são codificados para gerar a população de estruturas semelhantes e seus valores alterados durante o processo generativo. Certo número de formas semelhantes, os ‘pseudo-organismos’ é gerado, são selecionados a partir das populações geradas com base na ‘aptidão’ de critérios pré-definidos, passando assim melhorar as características de sobrevivência para as novas gerações. Soluções ótimas são obtidas por pequenas mudanças incrementais ao longo de várias gerações. (Frazer, 1995).

O projeto de Arata Isozaki em colaboração com Matsuro Sasaki para a competição da Nova Estação de Florença (2003) se utilizou do processo evolutivo para gerar a forma dos pilares que remetem a grandes troncos de árvore retorcidos. É uma variação interessante do uso de processos digitais porque escapa das formas topológicas monolíticas, em forma de casca, que se tornaram bastante comuns. Sasaki desenvolveu em seu estúdio o método de análise estrutural otimizada batizada de “Extended ESO Method” (Sasaki in Meredith, 2008). A otimização foi norteada por princípios mecânicos da estrutura, otimização da massa dos pilares e requisitos programáticos, todos descritos quantitativamente, inseridos no modelo paramétrico como regras de restrição (Sasaki in Meredith, 2008).

Figura 4.13: Nova estação de Florença, Arata Isosaki, 2003 (Meredith, 2008)

O projeto partiu de um problema estrutural simples, como um plano de 150 x 36 metros, suspenso a 20 metros do chão e apoiado em quatro pontos. Em seguida, executa um programa que gera uma estrutura maciça. O método ESO avaliou os esforços para robustecer a estrutura onde era necessário mais material, remanejando massa de partes onde havia excesso de material. O algoritmo foi executado novamente para refazer a avaliação dentro do ‘loop’, levando à evolução do processo de remanejamento de material. Cada uma das vezes que o algoritmo é disparado, há uma ‘geração’ da forma. O processo continua até que a forma satisfaça a intenção dos arquitetos. Cada geração é estruturalmente melhor que a anterior, denotando o processo evolutivo, cuja analogia com a Biologia é intencional. Ao final do processo é feita a análise



A. A face superior do telhado deveria ser plana, elevada a 12 metros de altura. A face inferior é deformada pelo algoritmo, em função da carga



B. Os arcos começam a ser gerados e depois sofrem a mudança para a estrutura catenária ao centro

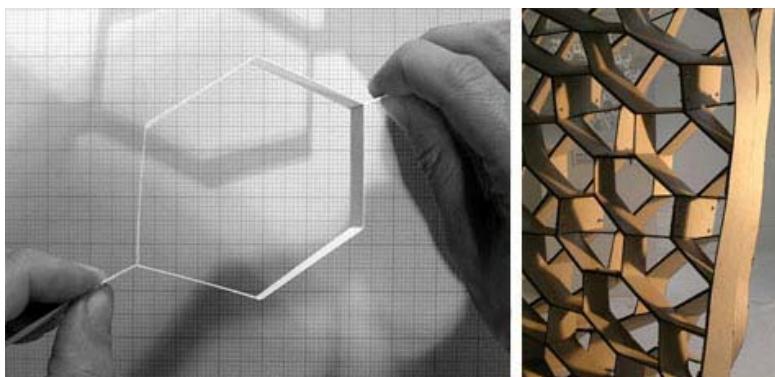


C. A forma é refinada pela redistribuição de material em função dos esforços em cada trecho

FEM para endossar a eficiência mecânica do conjunto (Sasaki in Meredith, 2008).

No projeto *Honeycomb* de Andrew Kudless, supervisionado por Achim Menges, Michael Weinstock e Michael Hensel, o arquiteto procurou desenvolver a estrutura em ‘favo de mel’ com o sistema de dupla camada que permitisse que cada favo pudesse assumir formas, posições e tamanhos diferentes em cada uma das peles (Menges, 2007). O processo partiu de um elemento simples em forma de favo de mel, formado por duas tiras de papelão dobrado cortadas a laser. Esse elemento foi testado por meio de maquetes físicas e avaliações morfológicas digitais a fim de investigar a inter-relação entre a curva da superfície e as estruturas internas das células de favo de mel. Os testes serviram para informar propriedades do material, como por exemplo, o ângulo máximo de dobra do papelão ou a tamanho máximo de cada peça em função das dimensões da folha e limitações da máquina de corte. As restrições encontradas nos teste serviram de base para o desenvolvimento do algoritmo de geração dos favos que definiu a morfologia dos elementos como tiras dobradas.

Figura 4.14: Projeto Honeycomb Morphologies, Andrew Kudless, 2003 (Menges, 2007)



Menges (2007) afirma que o que torna o projeto interessante não é a utilização dos algoritmos de maneira inovadora tampouco o emprego de alta tecnologia ou materiais caros. A grande conquista foi “a abordagem integral que relacionou diretamente modos de produção e execução com a forma gerada digitalmente”. Pode-se acrescentar que o uso de materiais tão baratos quanto o papelão para construir formas tão interessantes contribui para desmistificar a idéia geral de que as tecnologias digitais requisitam necessariamente materiais caros e processos muito complicados.

“Nós devemos ter cuidado porque enquanto meio mundo persegue como louco as piruetas gráficas informáticas hollywoodianas mais parecidas com um espetáculo do que qualquer outra coisa, na Europa já construímos ‘de verdade’ mediante esses processos integralmente digitais” (Estevez in Dollens, 2003). Apesar de sua crítica eurocêntrica, Alberto Estevez, bem como seu grupo Genetic Architectures vinculado à IaaC não foge do formalismo digital que domina a prática. Também é importante destacar que a dificuldade de materialização das arquiteturas produzidas permanece como dificuldade flagrante, admitida inclusive pelo próprio.

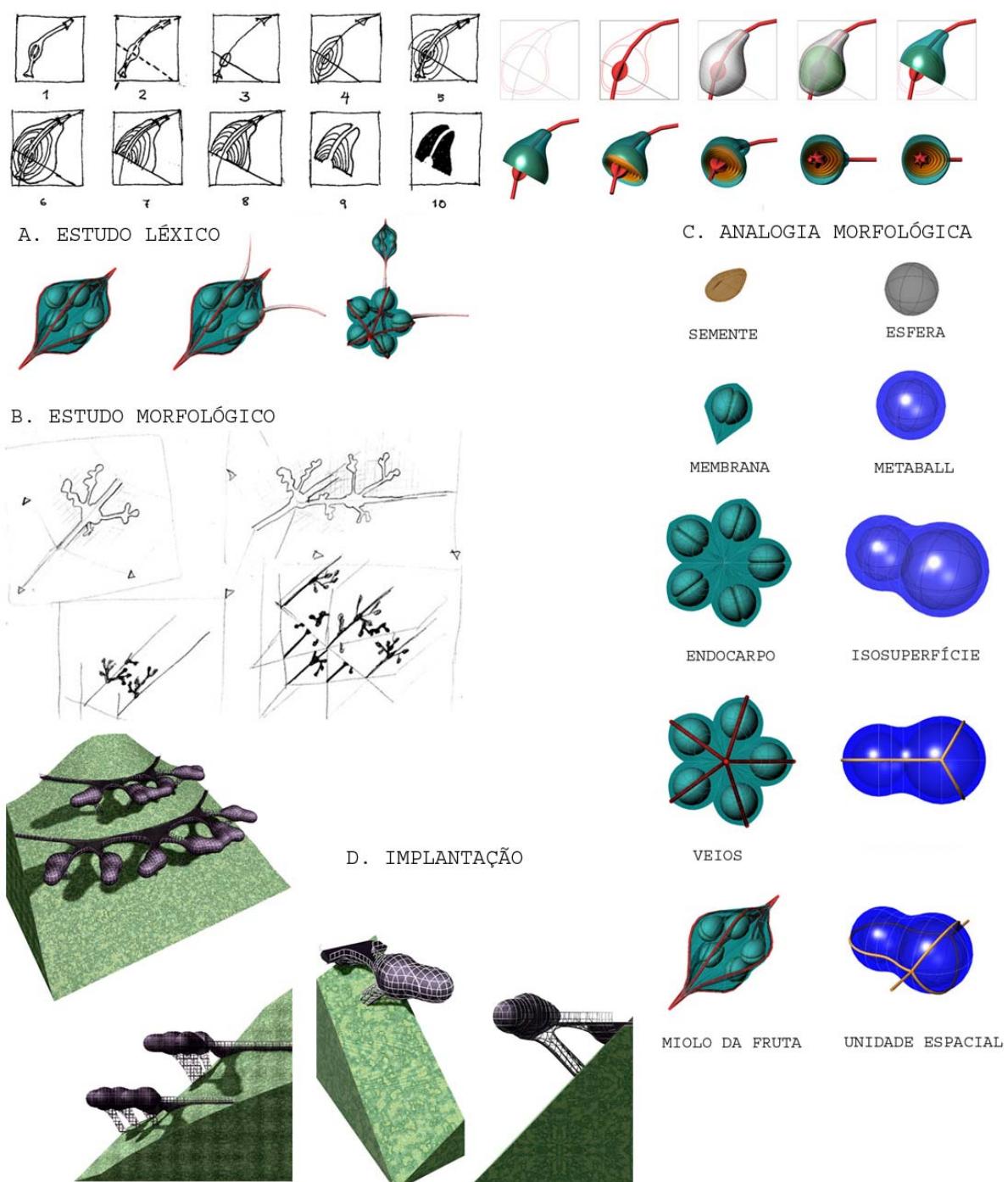
digitais. O tema é amplo e difuso, disperso em várias linhas de pesquisa. É uma das linhas mais ‘transgressoras’ e com o discurso ‘mais radical’ dentro das arquiteturas geradas digitalmente. Sem embargo, tem se constituído como a interessante tentativa de “ir além da simples análise, que é razão pelas quais novas ferramentas e metodologias digitais são necessárias” (Arnal in Dollens, 2003). Diversos pesquisadores como Michael Hensel, Achim Menges e Michael Weinstock, fundadores do *Emergence Design Group* na AA, além do núcleo *Arquitecturas Genéticas* da ESARQ-UIC, com os professores Alberto Estévez, Dennis Dollens, Karl Chu, Bernard Cache e Ignasi Pérez Arnal estão entre os principais atores.

Grosso modo, os *processos morfogenéticos* buscam a aproximação com formas ou processos de desenvolvimento de organismos da natureza. Em uma das linhas de abordagem, por exemplo, os arquitetos podem decodificar a sistema de crescimento de uma planta em um algoritmo. As formas *emergem* da aplicação desse algoritmo sobre um modelo que reproduzirá esse comportamento especificado no algoritmo com este fim. O arquiteto e pesquisador Ernesto Bueno (2010) explica que, em termos de programação, uma das estratégias dos *processos morfogenéticos* é gerar as formas por meio de *algoritmos*

A abordagem de processo algoritmos generativos surgida recentemente, chamada de *processos morfogenéticos*, constitui a aproximação do processo algorítmico generativo ao discurso ecológico. Esses processos são baseados na noção de *emergência* das ciências naturais, cuja referência primeira é *On growth and form*, publicada em 1917 pelo botânico D'Arcy Thompson e que tem sido evocada em vários momentos ao longo da história das arquiteturas

recursivos.

Figura 4.15: Estudo morfogenético, Ernesto Bueno, 2003

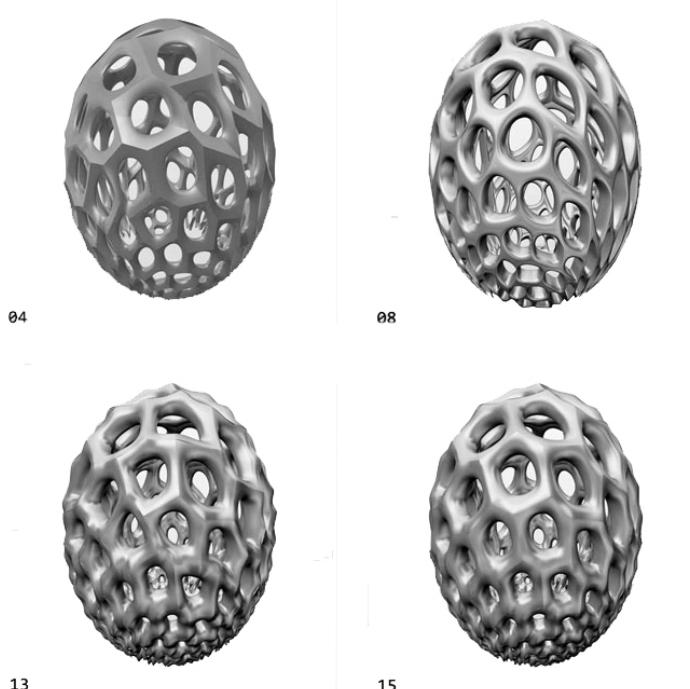


A ‘recursão’ é o conceito oriundo da Ciência da Computação que designa o processo pelo qual passa determinado procedimento quando um dos passos do procedimento em questão envolve a repetição completa deste mesmo procedimento. Um procedimento que se utiliza da recursão é dito recursivo. Também é dito recursivo qualquer objeto que seja resultado de um procedimento recursivo. O procedimento é algorítmico, ou seja, parte do o conjunto de passos seqüenciais estipulado no conjunto de regras. A execução do procedimento significa seguir de fato as regras e realizar os passos. Portanto, um algoritmo é dito recursivo quando um de seus passos consiste na chamada de uma nova execução de todos os passos do procedimento. Esse processo é altamente abstrato, podendo gerar resultados interessantes.

No projeto Radiolarian Pavillion (2009), Ernesto Bueno se inspirou nas formas do radiolário para gerar o padrão geométrico da estrutura topológica. No lugar de modelar cada hexágono e cada círculo para depois inseri-los como inputs no sistema, o arquiteto escreveu o algoritmo para definir a configuração geral da estrutura. Toda a forma foi gerada pelo algoritmo, à exceção de poucos elementos do modelo. O arquiteto aplicou um algoritmo de divisão para gerar a matriz de pontos correlacionados na superfície paramétrica. A matriz de pontos foi inserida na versão simplificada do algoritmo ‘honeycomb’ desenvolvido por Andrew Kudless para aplicar o padrão de modo iterativo em toda a superfície. O componente ‘radiolário’ foi aplicado sobre a superfície paramétrica subdividida em hexágonos. Este projeto reúne uma série de conceitos que orbitam em volta do tema atual das arquiteturas algorítmicas, mais especificamente aquelas que aplicam algoritmos genéticos, como processos generativos, biomimética, funções matemáticas aplicadas ao design arquitetônico e assim por diante.

**Figura 4.16: The Radiolarian Pavilion
(Bueno, 2010)**

Variação paramétrica da perfuração da casca.



O que tem tornado a arquitetura algorítmica como forte tendência na arquitetura contemporânea é fato de abranger questões da arquitetura de natureza tanto técnica quanto filosófica. Emerge com mais força num momento específico da produção digital, quando a fascinação inicial pelas formas inusitadas começa a dar sinais de fraqueza e os arquitetos começam a se questionar sobre a validade dessas experimentações. Nesse contexto, a arquitetura algorítmica tem ocupado certa posição de destaque pela sua carga teórica e por se constituir como uma poderosa ferramenta de concepção de projetos.

No livro *Algorithmic Architecture* (2006) o arquiteto pesquisador Kostas Terzidis se dedicou à formulação de algumas linhas teórico-filosóficas como base conceitual para as arquiteturas algorítmicas. Kostas aponta que manipular as formas complexas em software de modelagem não representa por si só a quebra de paradigmas, porque a lógica de projeto permanece intocada. A verdadeira quebra de paradigmas só poderá ocorrer utilizando-se as ferramentas digitais de modo totalmente inovador a ponto de modificar a maneira de pensar a arquitetura. Para tal, seria necessário extrapolar certos nichos de pensamento cristalizados não só pelo paradigma moderno como também pelas limitações da mente humana. Terzidis apresenta como alternativa de transcendência a exploração do verdadeiro potencial colaborativo do computador por meio dos algoritmos. “Ao usar scripts o arquiteto pode ir além do mouse, transcendendo as limitações de uso dos programas de modelagem comuns” (Terzidis, 2006).

Kostas Terzidis utilizou os termos computação (computation) e ‘computadorização’¹⁰⁸ (computerization) para explicar a diferença entre os dois meios de produzir arquitetura com ferramentas digitais.

“Computação é um termo que difere, mas frequentemente é confundido com computadorização. Enquanto a computação é o processo de calcular, ou seja, determinar algo por meio de lógicas matemáticas, computadorização é o ato de alimentar, processar e estocar informações no computador ou sistema computacional. Computadorização diz respeito à automação, mecanização, digitalização e conversão. Geralmente envolve a digitalização de entidades ou processos que são preconcebidos, predeterminados e bem definidos. Em contraste, computação diz respeito à exploração do vago, do indeterminado e obscuro, e mal definido, por causa de sua natureza exploratória, a computação objetiva estender o intelecto humano. Diz respeito à racionalização, uso da razão, lógica, algoritmos, dedução, indução, extração, solução de problemas, estruturas mentais, cognição, simulação e regras inteligentes, para citar alguns” (Terzidis, 2006).

¹⁰⁸ Tradução sugerida com base no Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa (2004).

Segundo o autor, atualmente a metodologia dominante é a designada como ‘computadorização’. O arquiteto argumenta que nas últimas duas décadas, começando pelas visões que desdobram de Eisenman (1993) e a curvilinearidade de Lynn (1993), os arquitetos têm se preocupado com as manifestações formais complexas, empregando o computador como veículo de expressão. Seu posicionamento é que as manipulações topológicas das nurbs não são atos de ‘computação’. Para Terzidis não passam de atos de computadorização muito sofisticados. Nos processos de computadorização o computador é utilizado para resolver a complexidade resultante de uma forma dada a priori pelo designer, mesmo empregando-se técnicas avançadas, como a parametrização. Apesar das formas geradas poderem ser muito complexas, o gestual de concepção e o controle sobre os objetos gerados guardam certos resquícios do método tradicional. Nestes casos, o computador é uma ferramenta muito sofisticada de suporte ao software que permite a produção de formas complexas e o melhor controle sobre elas. Portanto, a única classe de arquitetura gerada digitalmente seria a composta por aquelas cujos processos de geração da forma estão baseados em algoritmos. Contudo, é importante ressaltar que os projetos ilustrados na publicação são de cunho especulativo e didático, evocando a mesma atitude artística de Novak e Lynn no início da década de 1990.

A ‘computação’ de Terzidis pode ser comparada à espécie de evolução do pensamento de ‘*design by science*’ como base filosófica das primeiras tentativas de incorporar o computador na tarefa de projeto. De acordo com o arquiteto, algoritmos podem ser entendidos como a versão estritamente racional do pensamento humano. Como tal, podem ser caracterizados como precisos, bem definidos e lógicos. O problema deve ser claramente identificado, corretamente decodificado e traduzido para a linguagem de scripts. A atenção ao processo é fundamental, já que a atividade de projeto é interpretada como sistemática, finita e racional que pode ser desenvolvida de maneira probabilísticas. Os passos para a solução do problema devem ser razoáveis, justificáveis e consistentes. Se o projeto deve ser considerado uma atividade sistemática, finita e racional, então os esquemas computacionais podem ser dirigidos à identificação, decodificação e reflexão do processo (Terzidis, 2006).

Além disso, a imprevisibilidade dos dados de output pode desafiar crenças profundamente enraizadas na noção convencional de projeção arquitetônica como a noção de intenção, controle, criatividade e tomada de decisão. Tradicionalmente, a intenção de projeto é o ato de decisão consciente. Transferir o ato de tomada de decisão do plano consciente da mente humana para um agente inconsciente como o computador pode significar grandes mudanças na maneira de pensar a arquitetura, a qual se deu fundamentalmente através do domínio

total do arquiteto sobre o objeto projetado Terzidis (2006). Assim, randomização, incerteza, probabilidade e visão holística, questões sempre presentes na atividade de projeto, ganham novo enfoque. A partir desses princípios básicos, argumenta que os computadores podem ser capazes de complementar o raciocínio humano porque sugerem perspectivas distintas do mesmo¹⁰⁹.

Os avanços das experimentações com algoritmos têm fornecido alguns dos conceitos e abordagens mais inovadoras dentro das arquiteturas digitais. Dada a riqueza de idéias oferecidas pelas arquiteturas algorítmicas, o pesquisador Kostas Terzidis tem se prestado ao papel contestador e instigador tão necessário à evolução da Arquitetura. Contudo, Terzidis traz consigo diversas conclusões que em princípio discordamos.

Em primeiro lugar, a autonomia completa das decisões da máquina pode induzir à interpretação da arquitetura como outputs incidentais do software. Tirar do arquiteto a responsabilidade de tais implicações pode em si extrair a dimensão humana da arquitetura. Não da forma arquitetônica, aspecto aparentemente não prejudicial, mas da arquitetura como profissão crítica que deve responder à tecnologia, sim, mas primordialmente ao seu objeto validador que é o homem. Para a arquitetura resultar no que se deseja, esse ímpeto primeiro deve ser atribuído ao arquiteto investigador, empreendedor e criativo, mas comprometido com sua realidade de mundo. Da mesma maneira, Michael Meredith (2008) alerta que, não só as arquiteturas algorítmicas, mas as arquiteturas geradas digitalmente como um todo jamais devem ser desacompanhadas de atitude crítica para não recair no determinismo tecnológico moderno com nova roupagem, com argumentos do tipo “teve que ser dessa maneira por causa da geometria da forma” ou “o software fez assim”.

¹⁰⁹ Mas o ponto principal do argumento de Terzidis (2006: 54) que é no lugar das teorias da computação como fundamentações estruturais para a experimentação arquitetônica, os arquitetos digitais têm empregado teorias humanísticas dos anos 1960 e 1970 para explicar a complexidade das formas que produziram com computadores. A intenção era compor a base teórica para o fenômeno digital com o escopo das ciências humanas clássicas, isto é, observação, explanação e interpretação (Terzidis, 2006: 55). Segundo o autor, as abordagens humanistas se constituem como barreiras para explorar tudo o que escapa à razão humana ou que possa estar além das fronteiras do tangível, do factível e compreensível. Portanto, tendem a usar como referência a consciência humana. Como ponto de apoio de seu argumento, Kostas critica a produção de Greg Lynn:

“Lynn argumenta que a plasticidade do computador gera formas que podem ser associadas com as descrições de Deleuze sobre ‘smoothness’ e continuidade, enquanto no software a mesma propriedade é entendida como ‘softness’. Enquanto isso pode conter valor em nível fenomênico, isso certamente não possui nenhuma verdade matemática. As nurbs exibem comportamento contínuo e suave somente quando são implementadas em sistemas computacionais. É a representação numérica, poder de processamento e apresentação dos resultados dos sistemas computacionais que tornam essa plasticidade possível, fato desconhecido e talvez irrelevante para Deleuze” (Terzidis, 2006).

Algoritmos, por outro lado, tem mais afinidade com a Matemática, Lingüística e Computação, que procuram separar o assunto do objeto na busca de princípios que excedam a existência humana. O problema teórico da arquitetura algorítmica é que elas envolvem determinados conceitos que dizem respeito ao reino da computação, como virtualidade, efemeridade, continuidade, ubiqüidade, dinâmica, mas que têm sido tratados com a mesma base filosófica da arquitetura produzida com métodos convencionais. A solução apresentada é tratar a nova arquitetura com bases científicas não humanistas. (Terzidis, 2006). Nesse sentido, a questão-chave passa a ser a visão das ciências na arquitetura.

O projeto de arquitetura é particularmente complicado porque incorpora fatores que não podem ser decodificados ou prescritos. A estratégia tem sido dividir o projeto em duas partes tratadas como distintas: o reino subjetivo, vinculado às ciências humanas e à filosofia e o reino objetivo designado aos aspectos lógicos e racionais do projeto. Essa divisão, porém, não garante contra erros, já que a própria noção de lógica na arquitetura é passível de interpretação, atualizada constantemente pela cultura. A residência Farnsworth, por exemplo, foi concebida a partir de lógicas bem definidas na época, sem dúvida “é maravilhosamente nítida e está organizada sob o impulso de novas formais estritas, não constitui certamente, um triunfo do ponto de vista econômico e nem das inundações do Illinois” (Alexander, 1971).

Exemplo análogo é a composição da letra de uma música, um poema ou mesmo uma obra de arte. Mesmo supondo que o computador possa escolher palavras randomicamente e até formular textos coerentes com sujeito e predicado, a composição do poema tem a ver com transmissão de sentimentos e emoções que dificilmente o computador reproduzirá. Produções artísticas remetem à noção de sentido no seu termo literal. A construção do sentido depende de faculdades sensoriais e emocionais exclusivamente humanas. Muitas vezes o que faz sentido nesses termos não tem significado lógico ou racional algum. Frequentemente baseamos julgamentos sobre arquitetura através do que é sentido na experimentação espacial. Isso ocorre porque, por mais que tendamos a utilizar nosso potencial racional para julgar fatos, o corpo, que é o agente validador primordial do espaço considera no seu julgamento aspectos sensoriais além de lógicos e racionais. Portanto, assim como o sentido do poema necessita de mais aspectos que ordenação correta de elementos de texto, a construção do sentido na arquitetura está além do processamento racional de elementos do programa.

Não obstante, a utilização de algoritmos é sem dúvida uma ferramenta eficiente para resolver problemas extremamente complexos, dada a sua capacidade de lidar com grandes quantidades de cálculos, interações e formas complexas de mais para serem operadas pela mente humana. O maior interesse da arquitetura algorítmica pode residir na relação por elas estabelecida entre a análise detalhada das possibilidades oferecidas pelo computador e as interrogações de natureza mais filosófica no processo de projeto, não restritas aos aspectos aqui elencados. Os questionamentos mais instigantes exploram os benefícios das relações sinérgicas entre designers humanos e máquinas, onde o potencial máximo dos algoritmos depende do equilíbrio entre reconhecimento e complementaridade das limitações da mente humana e processadora. No lugar de instigar conflitos, as estratégias podem ser mais bem

exploradas se combinadas. Não se deve perder de vista, no entanto, que são os humanos que programam as máquinas e decidem quais formas valem ou não a pena ser construídas e, portanto, detém as escolhas primordiais. Assim, o poder de decisão do computador não é aleatório, é conferido pelo arquiteto e pelos usuários da arquitetura. Ou como disse Bernard Cache (apud Pérez-Méndez in Dollens (org.), 2003): “o computador é uma ferramenta que oferece o novo mundo de possibilidades, mas não define quais das formas que gera são interessantes para tornarem-se reais”.

“Existe a idéia de intenção versus processo indireto. Ouvimos dizer sobre intenções de projeto onde efetivamente desenhamos algo – mas que tal desenvolver um software onde nós escolhemos parâmetros e depois olhamos o resultado. Nós não manipulamos nada diretamente; nós manipulamos algoritmos e olhamos o resultado, e, às vezes, o output produz contribuições acidentais. Não importa qual tipo de software produzimos; este software não se executa sozinho na máquina na calada da noite quando não há ninguém por perto” (Aish in Kolarevic, 2003).

4.1.3 Gramática da Forma

Conforme foi visto no Capítulo 2, as teorias e aplicações da Gramática da Forma vêm sendo desenvolvidas desde a década de 1970. Alcançaram maior visibilidade nos últimos anos, quando foram realizados progressos com esse nicho específico de aplicação de algoritmos para a geração de formas arquitetônicas. Ao longo desses anos de desenvolvimento, foram publicados diversos estudos, a começar por *The Palladian Villas* (1978) e *Mughul gardens* (1980) de Stiny e Mitchell, *Frank Lloyd Wright's prairie houses* (Koning e Eizenberg, 1981) e mais recentemente *Alvaro Siza's houses at Malagueira* (2002) do pesquisador José Duarte. Novas referências importantes sobre o tema também podem ser encontradas no livro A Lógica da Arquitetura (Mitchell, 2008), *Transformations in Design* (Knight, 2000) e *Shape* (Stiny, 2006).

Segundo a definição de José Duarte (2003), a gramática é constituída por um conjunto de regras de substituição aplicado de modo recursivo para uma afirmação inicial que produz uma declaração final. As afirmações são descrições da forma. O processo é baseado em combinações heurísticas para escolher as regras aplicadas em cada etapa do projeto ou para limitar a escolha ao número pequeno de regras. A análise heurística também é empregada para avaliar os projetos que resultariam da aplicação de cada uma das regras disponíveis para, em seguida, auxiliar na escolha que leva ao desenvolvimento mais próximo dos objetivos do projeto. Regras aplicadas à gramática da forma criam

determinadas configurações arquitetônicas podem ser agrupados em coleções de bibliotecas. Essas bibliotecas existem em forma literária e são descritos como padrões, baseados nos princípios de Christopher Alexander (1977). Duarte afirma que este processo é determinista. Em micro-escala, o contexto específico implicará na aplicação de determinadas regras. Em macro-escala, as especificidades do contexto implicam na solução arquitetônica particular.

Duarte aplicou os princípios da gramática da forma para gerar as composições arquitetônicas desenvolvidas por Álvaro Siza no projeto habitacional Malagueiras (2002). O pesquisador utilizou o software específico de edição de gramática da forma o qual foi alimentado com as características das habitações de Siza, gerando assim um vocabulário de ‘casas estilo Siza’. Duarte aplicou um recurso batizado por ele de “gramática discursiva” (Duarte, 2003). Difere da gramática da forma (Stinny, 1972; Mitchell, 1990) porque, no lugar de descrever as formas, a gramática discursiva faz descrições simbólicas, permitindo que os dados de output do processo, ou seja, as declarações se dêem tanto em nível formal quanto semântico. Cada habitação era interpretada como um fragmento do discurso em linguagem apropriada ao contexto (Duarte, 2003). O processo algorítmico consistia na elaboração das regras que conduziram as combinações heurísticas das partes das habitações e informações das condições de implantação de cada habitação, especificadas pelo projeto.

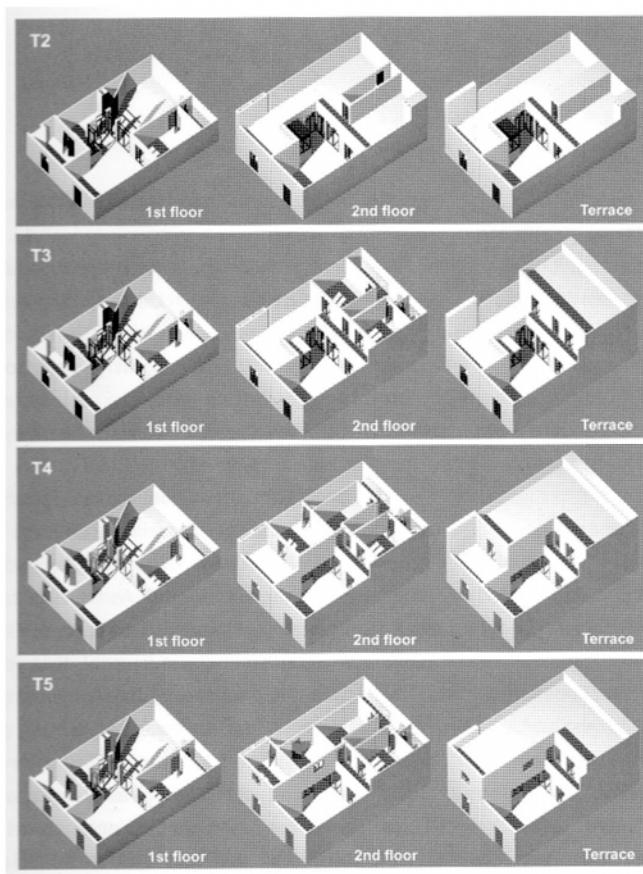


Figura 4.17: Variações da gramática da forma das Casas Malagueiras
José Duarte, 2002 (Kolarevic, 2003)

Para Mitchell (in Kolarevic, 2003), a maior utilidade dessa modalidade de forma gerada digitalmente é a possibilidade de instanciar e combinar primitivas geométricas para a construção de vocabulários de elementos arquitetônicos que podem ser reagrupados para gerar subconjuntos. As derivações obtidas com a gramática da forma podem adquirir maior ou menor grau de complexidade em função das regras

alimentadas no sistema. A inovação da pesquisa de Duarte (2003) em relação às aplicações anteriores da gramática da forma foi a incorporação das condições do tecido urbano como uma das regras derivativas das habitações. Outras aplicações interessantes do autor podem ser acompanhadas no projeto de habitação em Marrakesh (Duarte, 2006), onde o arquiteto considerou as regras compositivas tradicionais dos pátios das habitações indianas para gerar as variações dessas habitações.

4.1.4 Arquitetura baseada em desempenho

A análise de desempenho é um princípio de projeto que considera alguns parâmetros prioritários ao qual o edifício tem que responder. Nessa abordagem, a prioridade é o desempenho do edifício e não a forma (Kolarevic; Malawaki, 2005). É importante ressaltar que, neste caso, o software não ‘gera’ a forma propriamente, mas instrui o designer em como mudar a geometria para alcançar o melhor desempenho dentro do aspecto analisado para depois submetê-la novamente à análise. A interação homem-máquina produz a “convergência para a solução ótima de projeto” (Kolarevic in Kolarevic; Malawaki, 2005).

Conceitualmente, as análises de desempenho têm cumprido papel paradigmático nas arquiteturas digitais. As técnicas de simulação de desempenho têm sido empregadas para simular aspectos quantitativos e qualitativos do edifício e assim oferecer nova aproximação entre design arquitetônico e o ambiente do projeto. As arquiteturas da vanguarda digital “têm se utilizado de vários processos generativos digitais para abrir novos territórios de explorações conceituais, formal e tectônicos, articulando a morfologia arquitetônica centrada nas propriedades emergentes e nas propriedades adaptativas da forma” (Kolarevic, Malawaki, 2005).

A abordagem de projeto orientada para a absorção, incorporação e simulação de informações do contexto de projeto desempenho abre o grande leque de possibilidades metodológicas. Seu significado múltiplo pode adquirir muitas dimensões do projeto que vão desde a questão social e cultural quanto aquele de natureza estritamente técnica, conforme visto ao longo do Capítulo 3 deste trabalho. Um dos grandes benefícios apontados com a adoção desse processo é a maior integração e colaboração entre engenheiros e arquitetos nas fases iniciais da concepção de projetos.

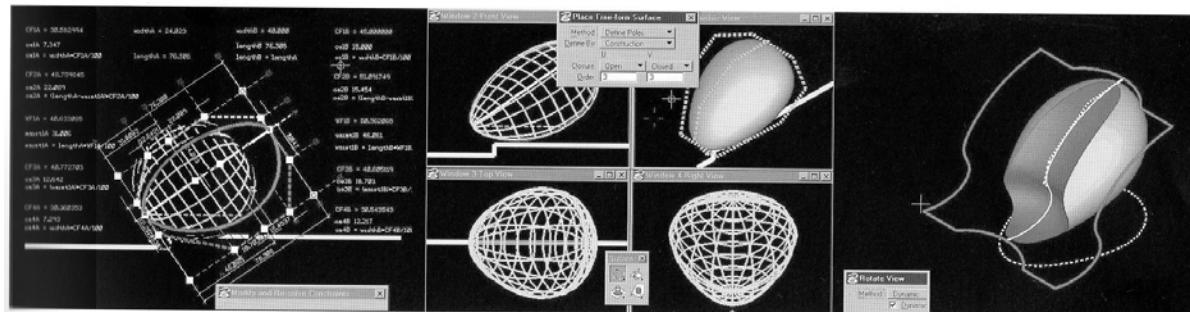
O principal argumento em defesa dos modelos baseados em desempenho é que estes conferem ‘utilidade’ à forma ou mesmo ‘justifica’ certas decisões de projeto que podem

parecer despropositadas. Uma forma gerada digitalmente pode não ter nenhum tipo de ‘desempenho utilitário’. Muito embora uma forma extravagante possa ser justificada pelo seu valor cultural ou inovador, em ocorrências desse tipo o fator que exige a presença do computador é a complexidade formal em primeiro plano que reverbera em outras questões como o cálculo estrutural e o corte das peças de fechamento, tornando a arquitetura difícil de resolver. Daí os modelos de simulação computadorizada emergem como peça fundamental para a solução desses problemas. Nesse sentido, a complexidade pode ser injetada artificialmente como resultado do apelo formal pretendido, como no caso extremo do arquiteto Frank Gehry.

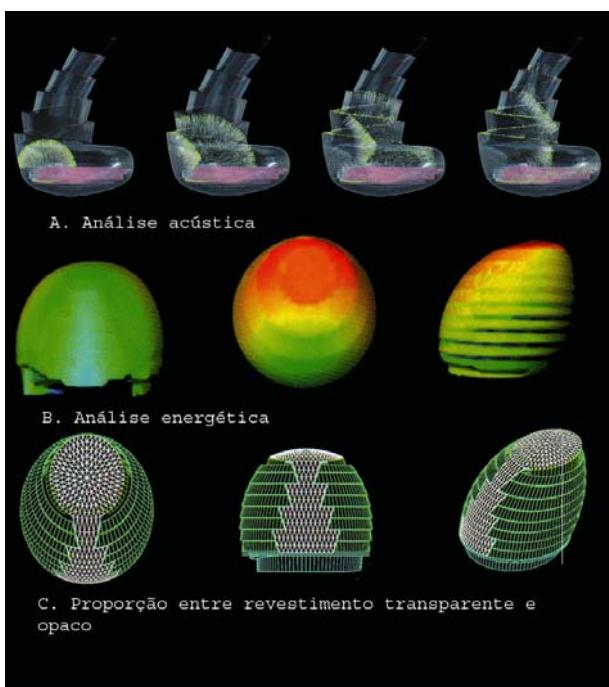
Muito embora as questões ambientais estejam no topo da agenda arquitetônica nesse início de milênio, Kolarevic e Malawaki (2005) advertem que o projeto baseado em desempenho não deve ser visto simplesmente como uma maneira de conceber um conjunto de soluções técnicas para o grande conjunto de problemas práticos, isto é, “não devem ser reduzidos a algum tipo de abordagem neo-funcionalista de arquitetura” (Kolarevic; Malwaki, 2005). A crescente ênfase sobre o desempenho da construção e seu deslocamento desde os aspectos físicos da construção para os contextos cultural e social tem influenciando a nova geração de edifícios concebidos com estes princípios. “Determinar os diferentes aspectos performativos de um determinado projeto, reconciliando muitas vezes objetivos conflitantes para o desempenho gerando formas criativas e eficazes são alguns dos principais desafios do projeto baseado em desempenho” (Kolarevic; Malwaki, 2005).

O exemplo clássico de geração da forma com o desempenho orientado para aspectos de conforto ambiental é o edifício da prefeitura de Londres, *City Hall* (1998-2001), por Norman Foster e equipe. O princípio balizador do projeto intencionava a concepção do edifício com solução energética integrada e racionalizada. A forma inicial foi arbitrada como um seixo que foi modelado parametricamente. A inclinação da forma permitia o máximo de insolação ao norte e o sombreamento desejado na fachada sul. Essa inclinação, contudo, foi realizada com a sequência de morphing de três key-frames. A técnica gerou cem variações, das quais a de número 67 foi eleita para ser desenvolvida (Whitehead in Kolarevic, 2003).

**Figura 4.18: Seixo parametrizado, City Hall, Londres, Foster and Parteners, 1999-2001
(Kolarevic, 2003)**



**Figura 4.19: Seixo parametrizado, City Hall, Londres, Foster and Parteners, 1999-2001
(Kolarevic, 2003)**



A proporção entre painéis de vidro e revestimento opaco foi decidida em função das análises de eficiência energética e acústica. Como o edifício estava sendo projetado para receber a assembléia londrina, a acústica da câmara de debates poderia ser excessivamente reverberante. Os engenheiros da Arup desenvolveram o método de análise sobre o modelo digital onde era possível visualizar o som sendo refletido e absorvido nas múltiplas superfícies. (Kolarevic; Malawaki, 2005).

Estudos mais recentes têm tentado comprovar que a complexidade formal das arquiteturas geradas digitalmente pode surgir da manipulação de parâmetros utilitários, como os dados de conforto ambiental do contexto de projeto, por exemplo. Essa nova abordagem vem adquirindo cada vez mais adeptos porque nesse tipo de arquitetura baseada em desempenho, o emprego do computador pode extrapolar a simples questão formal, trazendo uma complexidade de nova ordem. Uma das tentativas interessantes de extrapolar a abordagem FEM/ CFD pode ser observada na iniciativa dos professores Anne Save de Beaurecueil e Franklin Lee da *Architectural Association* em Londres. No lugar de interpretar a questão do conforto ambiental como

'ausência de desconforto', o foco é criação de espaços de fruição ambiental. A diferença é fundamental porque induz a soluções arquitetônicas e criativas no lugar da incorporação de aparelhos para contornar problemas ambientais (Beaurecueil; Lee, 2009).

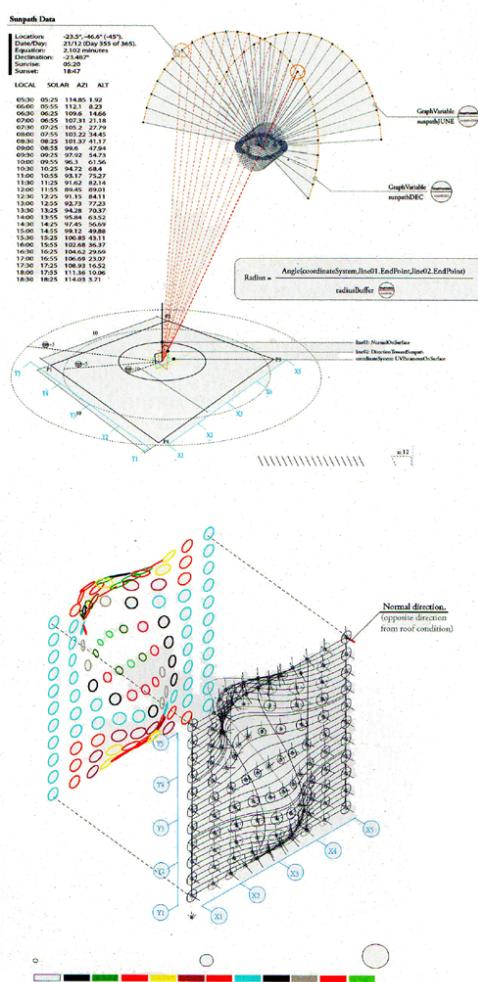
Segundo estes professores, muito embora as arquiteturas geradas digitalmente tenham conquistado grandes avanços na última década, as dinâmicas culturais continuam sendo negligenciadas. O propósito de sua pesquisa é articular as questões sociais com preocupações estéticas e ambientais, permeada pelas possibilidades do mundo digital. Com base nessas considerações, os arquitetos desenvolveram o conceito de "ornamentação ambiental" (Beaurecueil; Lee, 2009) como princípio-guia de projeto. Segundo sua definição:

A noção de ornamentação, no entanto, não deve ser entendida como 'decoração'. Os 'ornamentos' são componentes aplicados sobre as superfícies dos edifícios que atuam como mediadores entre meio ambiente e arquitetura; espaço interior e exterior. São comparáveis aos brises soleil amplamente utilizados na arquitetura moderna brasileira, que inclusive, é uma das principais referências arquitetônicas dos pesquisadores. Para corrigir essa inflexão, os autores propõem o estudo das dinâmicas dos locais de projeto com o objetivo de sincronizar movimentos ambientais e culturais como numa "Coreografia para criar a *Ornamentação dos Fluxos*" (Beaurecueil; Lee, 2009, grifo do autor). Essa abordagem é, portanto, distinta das 'forças ocultas que geram as formas' como em Eisenman ou Lynn.

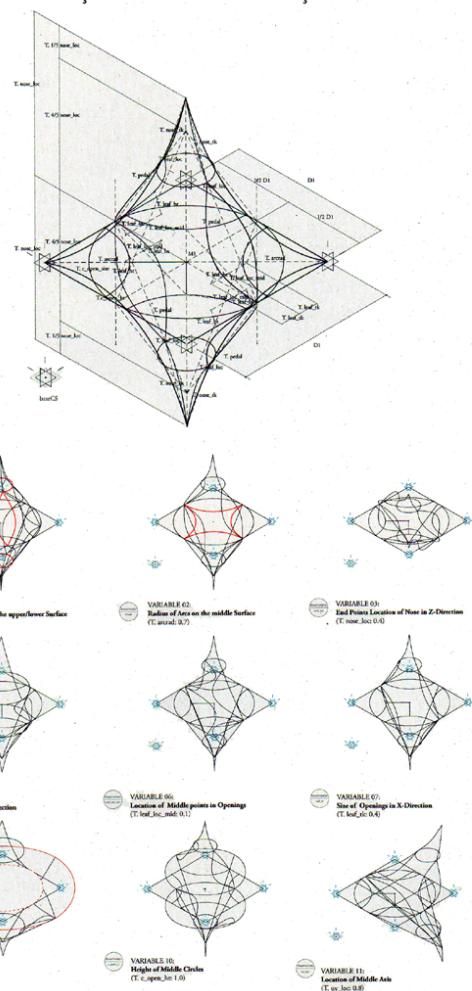
**Figura 4.20: Intervenção no Edifício do Detran-SP
(Beaurecueil; Lee, 2009)**

Projeto de Jin Hong Jeon, 2008, estudante de graduação da AA School of Architecture para o edifício do DETRAN-SP em frente ao Parque do Ibirapuera.

A. Estudo de insolação

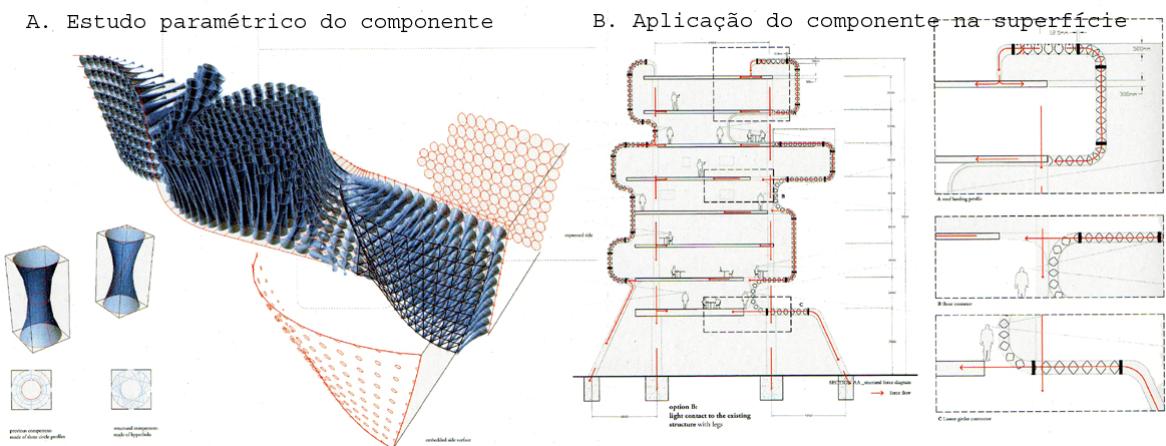


B. Calibração do componente em função da insolação

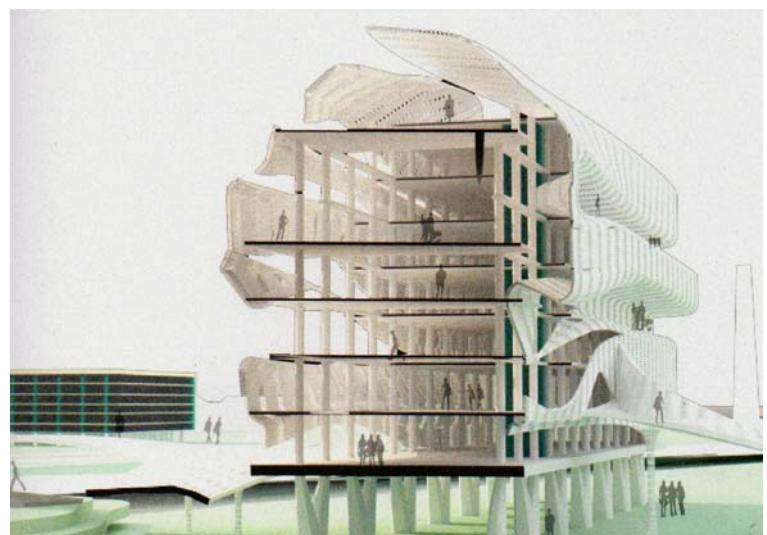


"No nosso objetivo de mediação entre cultura e natureza, a unidade tem trabalhado na transformação dos [fluxos no nível do chão] ambientalmente mais responsivos e na produção de um tipo de expressionismo ecológico – uma 'ornamentação ambiental' (...). Isso envolve a definição de nova filosofia estética e agenda social para [definir as bases do] projeto paramétrico de cunho ambiental, de modo que a prática sustentável de projeto não seja vista como meros dispositivos adicionados ao projeto por meio da lista de critérios estabelecidos, mas integrados à geração da forma e às atividades cotidianas do edifício propriamente dito. Isto é, a partir da incorporação do desempenho ecológico com estruturas ornamentais, efeitos fenomenológicos e convoluted sequencias de circulação, a sustentabilidade adquire maior relevância cívica e cultural" (Beaurecueil; Lee, 2009).

**Figura 4.21: Intervenção no Edifício do Detran-SP
(Beaurecueil; Lee, 2009)**

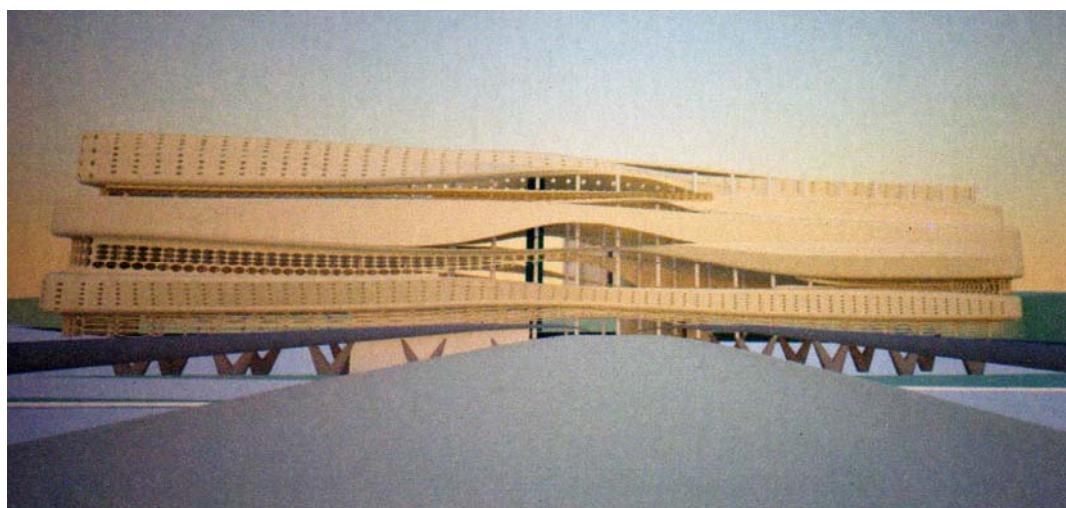


**Figura 4.22: Intervenção no Edifício do Detran-SP
(Beaurecueil; Lee, 2009)**



Segundo o autor, o projeto tem como meta a fusão entre “o movimento topológico contínuo da superfície e a descontinuidade articulada do design paramétrico baseado em componentes” (Jeon in Beaurecueil; Lee, 2009). Os componentes da pele sobre a fachada do edifício de Niemeyer funcionam como intermediadores entre ambientes interno e externo, articulando cheios e vazios; luz e sombra; público e privado.

**Figura 4.23: Intervenção no Edifício do Detran-SP
(Beaurecueil; Lee, 2009)**



4.2 O arquiteto como construtor de suas ferramentas

Desde os computadores foram incorporados ao fazer arquitetônico, a instrumentalização do processo arquitetônico passou a ser objeto de questionamento e pesquisa. Uma das decisões iniciais desta investigação foi não focar no potencial específico de cada ferramenta. Tal posicionamento se explica pelo fato de que, no processo de concepção do projeto digital, as idéias são experimentadas em diversas mídias diferentes. A decodificação binária do mundo digital facilita a fluidez de informações entre diversos software.

Durante o processo de concepção, uma idéia é, inevitavelmente, traduzida em diferentes mídias digitais ou plataformas de software, com novas percepções criadas a cada passo, criando oportunidades para o surgimento de idéias inesperadas. Isso resulta em na multiplicidade de pontos de vista, mais afinados aos espaços conceitual e cognitivo. Na verdade, a multiplicidade de percepções permite aos projetistas compreender as relações espaciais com maior complexidade e analisar as possíveis soluções com maior eficiência do que era possível com os métodos analógicos. Estudos sobre o processos cognitivos de designers reforçam a conclusão de que as operações não-lineares são típicas; turnos multimodais, colaboração e experimentação de idéias são partes essenciais do processo de concepção do arquiteto (Tierney, 2007)

Não é possível encontrar no mercado ‘a’ ferramenta digital que supra todas as necessidades específicas dos arquitetos em geral. Basta observar, por exemplo, que grande parte das ferramentas digitais não foi desenvolvida especificamente para arquitetos. Relembrando os

capítulos anteriores, os designers se utilizaram basicamente de software da indústria de entretenimento e da engenharia para produzir objetos arquitetônicos inovadores. De modo geral, as ferramentas CAD mais próximas da prática arquitetônica trivial acabam induzindo a certos elementos de projeto com baixo semântico que em nada contribuem para a inovação da arquitetura (Aish in Kolarevic, 2003). Para sair do lugar comum, os arquitetos podem, por exemplo, modelar objetos em determinado software, analisar seu desempenho em outro, renderizar animações em um terceiro e assim por diante. Por isso, optou-se por falar das *técnicas*.

Na era dos processos paramétricos e algorítmicos, as ferramentas têm suscitado cada vez mais interesse, inclusive daqueles arquitetos descomprometidos com a vanguarda digital. O teor das pesquisas publicadas gira em torno das potencialidades das novas ferramentas, as técnicas envolvidas, novas definições paramétricas, novos algoritmos escritos e assim por diante (Oxman, 2006). É visível que o design arquitetônico permanece “fortemente dependente das ferramentas utilizadas e, ao mesmo tempo, as ferramentas têm impacto significativo no projeto” (Terzidis, 2006). Naturalmente, cabe a cada arquiteto compreender de que maneira as ferramentas existentes podem contribuir para a sua prática em particular. Como o processo de projeto não se equipara ao método científico, a utilização de instrumentos e ferramentas acaba refletindo a individualidade de cada arquiteto. Em outras palavras, as ferramentas digitais “podem adicionar instrumentos à paleta do arquiteto que a usa como lhe aprouver” (Ceccato, 1999).

Essa abordagem pode ser estendida quando o arquiteto interfere na estrutura de suas próprias ferramentas. Esta modalidade exclusivamente digital se comparada com as ferramentas analógicas é evidente através da ‘customização’ dos sistemas CAAD. Não por caso os software mais utilizados têm sido aqueles mais versáteis e que permitem maior adaptação às necessidades dos arquitetos. O scripting, por exemplo, pode “transformar programas de CAD comuns em software paramétrico”. Contudo, o passo adiante foi dado quando os arquitetos começaram a criar novas ferramentas independentes, intuitivas que se complementam, ao invés de competir com os diversos sistemas existentes. A atitude observada desde a arquitetura evolutiva de Frazer em 1995¹¹⁰. Como o designer pode deliberar sobre suas próprias definições de regras associativas dentro dos modelos, Oxman

¹¹⁰ Cf. Capítulo 2.

(2006) sugere que o usuário acaba assumindo o papel de “construtor de suas próprias ferramentas”.

Nesse contexto, os software de maior crescimento na arquitetura têm sido aqueles que permitem a modelagem de superfícies topológicas no plano cartesiano associada a recursos de parametrização e interpretação de linguagem de programação algorítmica. Caso do software *Rhinoceros* e seus plug-ins de editor de linguagem *VBScript*, como o *RhinoScript* e o *Monkey Editor*, bem como seu plug-in paramétrico *Grasshopper*. São utilitários muito versáteis, intuitivos e no caso do *Grasshopper*, com linguagem visual facilitada. Conferem ao usuário a oportunidade de trabalhar com variáveis, implementar algoritmos generativos ou até mesmo criar Plug-ins próprios. Outros exemplos que podem ser citados são o MEL Script para o software Autodesk Maya, o 3dMaxScript para 3DStudioMax e as rotinas LISP, ou Autolisp para AutoCAD.

A liberdade anunciada pelos arquitetos usuários de scripts e plug-ins paramétricos não foi capaz de evitar o que Mark Goulthorpe, do escritório dECOi (in Kolarevic, 2003) chamou de “tecno-racionalismo”. Para o arquiteto, usar as ferramentas em “modalidades mais sensíveis” é insuficiente enquanto discurso cultural, ou seja, a forma arquitetônica permanece ditada pela ferramenta, por mais interativa ou iterativa que ela seja. Tal fato poderia explicar em parte a homogeneidade das formas geradas digitalmente. Na visão de Sulan Kolatan (in Kolarevic, 2003), forma arquitetônica e geometria são intimamente relacionada, portanto a possibilidade de descrição geométrica topológica em meio digital vem imprimindo as curvas na arquitetura. A medida que as potencialidades das novas ferramentas sejam descortinadas, novas formas se revelarão. Em abordagem favorável porém crítica, Sanford Kwinter e Jason Payne (in Meredith, 2008) vão mais além ao afirmar que as ferramentas paramétricas e algorítmicas não são suficientes para ‘gerar formas’ efetivamente. Segundo sua crítica, apesar de constituírem como recursos interessantes de representação e análise, os software paramétricos e as técnicas de scripting não são ferramentas de projeto, mas ferramentas de realização e resolução, somente (Kwiter in Meredith, 2008).

Em meio a argumentos de defesa ou repulsa as ferramentas paramétricas e algorítmicas, permanece a pergunta “por que não há diferenças mais dramáticas entre projetos?” (Lindsey in Kolarevic, 2003), ou complementado a sentença, ‘por que as formas são tão parecidas, já que se trata de ferramentas que supostamente tem tanto potencial?’ Entre os ecos de possíveis respostas, observa-se que, especificamente sobre a questão da representação, o

futuro da prática comum de arquitetura tende a ser paramétrico, não pelas possibilidades de arranjo formal, mas pelo seu pragmatismo. Neste cenário, é provável que a prática de vanguarda se alinhe cada vez mais à programação algorítmica. Como disse Robert Aish (2005), para ser original e manter o controle, o designer deve não só entender os algoritmos como também escrever seus próprios scripts. Ao mesmo tempo, também devem ter a capacidade crítica de saber quais são os inputs válidos, e como interpretar as regras, avaliar resultados e validar as formas produzidas.

4.3 Dimensões ocultas das formas geradas digitalmente

Iniciamos este capítulo com o argumento de que os edifícios produzidos pela vanguarda digital no contexto pós-Bilbao têm se tornado cada vez mais complexos. Ao longo do capítulo, procuramos demonstrar que as modalidades digitais têm permitido que tal complexidade seja abraçada em aspectos mais diversos que a aparência retorcida dos edifícios. Procurou-se registrar as tentativas por parte dos arquitetos em responder a certas complexidades culturais de nosso tempo, para sobrepujar as manifestações formais. Na transição das arquiteturas digitais para as arquiteturas geradas digitalmente, certas ‘complexidades’ dos objetos arquitetônicos puderam ser interrogadas em termos mais amplos; como conjuntos de sistemas conectados e mutuamente influentes. Rebatendo essas idéias para a prática, podemos perceber o esforço em superar a idéia de que o computador é um artefato para resolver ‘complexidades artificiais’, como por exemplo, dar vazão às formas livres do Museu Guggenheim de Bilbao, ou no processamento de grandes quantidades de informações do contexto como no projeto da London City Hall. Ao usar o computador simplesmente para explorações formais, o trabalho do designer corre o risco de ser ditado pela ferramenta empregada. Em última instância, pode-se perceber o deslocamento do ‘parecer complexo’ para o ‘pensar complexo’, tendo as ferramentas digitais como veículo mediador. Portanto, parece ser a tarefa primordial das arquiteturas geradas digitalmente trazer o computador para nichos mais criativos no contexto das atividades de projeto e assim gerar ‘complexidades’ de outra ordem.

O sociólogo e filósofo francês Edgar Morin em seu livro *Introdução ao Pensamento Complexo* (2005) disse que complexidade está além de quantidades de unidades e interações que desafiam a nossa possibilidade de cálculo: ela compreende também incertezas, indeterminações e fenômenos aleatórios. Complexidade, no entanto, não significa apenas a incapacidade de ter certeza de tudo, de conceber a ordem absoluta, mas à “incerteza no seio de sistemas ricamente organizados” (Morin, 2005). A arquitetura é uma

disciplina nascida das Belas Artes, mas com aproximação estreita com a tecnologia. Diz respeito primordialmente ao homem, que é seu objeto validador, com toda a complexidade subjetiva que os indivíduos carregam de forma distinta em si. Nesse sentido, a arquitetura faz fronteira com diversos campos do conhecimento humano: desde filosofia, antropologia e sociologia até engenharias, urbanismo, artes e mais recentemente, programação de computador. Pode-se dizer, então, que o contexto de atuação da arquitetura é um sistema ricamente organizado. Portanto, a arquitetura é uma prática complexa por definição. Com efeito, quando Robert Venturi (1966) disse a arquitetura é um todo complexo o computador ainda estava longe dos escritórios de arquitetura. Isso significa que sempre existiram arquiteturas complexas.

De acordo com o que foi analisado, pode-se admitir que a complexidade do objeto arquitetônico venha exatamente da combinação entre as relações não quantificáveis, das interferências da cultura, sociedade, economia e política e não só dos novos padrões estabelecidos pela tecnologia. Depende intrinsecamente de como o objeto arquitetônico é apropriado pelo seu objeto validador, o homem, cujas reações e interpretações frente ao objeto arquitetônico tendem a ser imprevisíveis. Portanto, a arquitetura não pode ser abreviada pela tecnologia, nem engenharia e muito menos repetição de modelos do passado. A arquitetura “é mediação entre as técnicas, as imagens e o panorama que a cultura oferece a cada momento” (Solà-Morales, 1995). Em outras palavras, está mais além da determinação técnica ou prática de cada obra.

“É a mediação entre o entorno técnico para o qual o arquiteto deve manter os olhos bem abertos e a finalidade estética que constitui o objetivo último da obra arquitetônica. Apesar de manifestada em nível produtivo e particular dos objetos, a mediação da arquitetura é exercitada no plano do discurso, expressão e mensagem. O objetivo da arquitetura não é a ilustração literal das funções ou das técnicas, mas a exposição eloquente, a apresentação convincente, a manifestação verossímil da mensagem de universalidade encontradas nessas técnicas. Eloquência, convicção e credibilidade são os objetivos da arte da retórica, o ato criativo de comunicar eficazmente a mensagem. Arquitetura como a mediação é retórica, a arte da comunicação e da eloquência.” (Solà-Morales, 1995).

Com base na reflexão sobre suas próprias experiências o arquiteto Mark Burry afirmou que “os únicos parâmetros que podem ser revisados *in acto* são aqueles que definem as medidas das entidades e a distância entre seus ângulos relativos, e a habilidade de gerar associações formais entre esses elementos” (Burry in Kolarevic, 2003). Ao mesmo tempo, a descrição dos projetos como uma seqüência de passos não pode transmitir a complexidade das interações sociais que ela incorpora. O projeto não é apenas o processo, mas a co-evolução dos esforços e eventos em vários lugares e épocas, tanto síncronas quanto

assíncronas. Designers partilham os seus valores, esforços e competências nos ajustes do projeto através das ferramentas empenhadas. Cada vez mais, o processo de projeto tem requerido interações de diversas ordens entre profissionais, nas modalidades físicas e virtuais, por meio da gama de tecnologias de interação. Considerar que o uso apenas de algoritmos lógicos é suficiente para gerar a arquitetura em detrimento de toda a complexidade subjetiva dos seres humanos pode nos levar a cometer os mesmos erros de simplificação do modernismo, mesmo com o emprego de ferramentas digitais extremamente complexas.

Estes pensamentos podem suprimir algumas dimensões subjetivas importantes, em diferentes escalas. Nesse contexto, as limitações das metodologias paramétrica/algorítmica “reside exatamente no que exclui: a dimensão sócio-política da arquitetura” (Meredith, 2008). A otimização paramétrica e as variações algorítmicas não são problemas fundamentais na arquitetura e o uso de modelos eletrônicos não é garantia de sucesso do projeto. Apesar de a tecnologia ser mais do que nunca importante aspecto na arquitetura, há muitos outros parâmetros não quantificáveis, relações, pressões culturais e aspectos em jogo que não podem ser tratados simplesmente como determinismo tecnológico. Os benefícios e possibilidades de design oferecidas pelas ferramentas digitais são muito grandes, mas os parâmetros que definem a arquitetura ainda são escolhidos pelos arquitetos. Da mesma forma, são eles que decidem quais arquiteturas que valem a pena ser construídas. Acreditar que a tecnologia resolverá todos os nossos problemas é ingenuidade. Nas palavras de Michael Meredith (2008), “nossos problemas são muito mais humanos e a arquitetura só pode ser crítica, expressiva ou complexa se for diretamente comprometida com a cultura, considerar nossa complexidade humana inerente e se tornar significativa nas redes sócio-culturais”.

No entanto, é importante ressaltar que a ocorrência de certa supressão social não é atributo exclusivo do movimento digital. Uma das principais críticas ao movimento pós-moderno é a ausência de discurso socialmente engajado (Nesbitt, 2006). Esta questão se esfacela em múltiplos desdobramentos que fogem do escopo deste trabalho, mas deve ser interpretada como um convite à revisão crítica do assunto. Por outro lado, é observável o esforço por parte de alguns arquitetos digitais em construir discursos mais afinados com o macro-conceito de sustentabilidade, isto é, social, ambiental, econômica e assim gerar arquiteturas potencialmente responsivas.

Acreditamos que as estratégias algorítmicas e paramétricas para a geração da forma são ferramentas poderosas na solução de problemas cuja complexidade, nível de incerteza, ambiguidade ou número de soluções possíveis requerem a relação sinérgica entre mente humana e computador. Também confiamos que é possível empreender usos criativos ao computador não só para gerar novas formas interessantes, mas para formular novos conceitos e assim estabelecer novas relações entre usuário e arquitetura. Contudo, viabilizar a prática da arquitetura gerada digitalmente como um rumo possível dentro da disciplina torna necessário evitar posturas que induzem ao “tecno-racionalismo” (Goulthorpe in Kolarevic, 2003) ou ao “determinismo tecnológico” (Jencks, 2002). Sem rigor e crítica, “os projetos gerados digitalmente permanecerão apenas exercícios de software” (Klinger, 2005).

Mal-entendido

O sr. K. assistiu a uma reunião e depois contou a seguinte história: Na grande cidade X havia o chamado Clube Rumpf, no qual era costume, depois de uma ótima refeição anual, pronunciar “rumpf” algumas vezes. Ao clube pertenciam pessoas que não conseguiam esconder sempre suas opiniões, mas que haviam tido a experiência de ver suas palavras mal-entendidas. “Eu soube, porém”, disse o sr. K., balançando a cabeça, “que esse ‘rumpf’ foi mal-entendido por alguns, ao acreditarem que não significava *nada*.”

Bertolt Brecht. Histórias do Sr. Keuner.

CONCLUSÕES

Ao longo dessa dissertação, foi construída uma história a partir da qual se procurou demonstrar que as novas técnicas e operações digitais não modificaram somente nosso modo de representar a arquitetura. Elas forjaram novas bases de pensamento fundamentado no digital, liberando ou pelo menos redefinindo novas relações entre ferramenta, representação e processo conceptivo. Na esteira desse movimento, as novas teorias digitais transformaram o conceito de ‘forma’ no que Rivka Oxman (2006) chamou de “em formação”, explicitando a importância do processo sobre o produto. Esse pensamento interativo de busca formal dá nome ao processo de concepção digital de forma+ação = formação, ou ‘em processo de formação’. Por conta disso, este novo modo de projetar tem sugerido a redefinição de alguns nichos importantes na arquitetura. Dentre eles, a noção da representação tem sido um dos mais questionados porque é o suporte de pensamento do arquiteto. É o meio pelo qual as idéias surgem. Ao mudar o suporte, muda também o procedimento.

Considerando as arquiteturas digitais como movimento de vanguarda, concordamos com o crítico Josep Maria Montaner (2001) quando este afirma que a contrapartida desses movimentos tem sido a dificuldade de estabelecer a comunicação com o público. As vanguardas são necessariamente impulsionadas pela vontade de romper com a tradição, levando ao desprezo de códigos e convenções estabelecidas no mundo das artes e da arquitetura. O culto à originalidade, à conquista e ao avanço tecnológico correm o risco de serem interpretadas pelo público como “elitismo social que converte a obra em algo exclusivo e difícil” (Montaner, 2001), gerando uma espécie de ‘arquitetura para arquitetos’. Entre os profissionais da disciplina, é comum rechaçar as arquiteturas de vanguarda com o argumento de que são ‘um luxo’ dentro do campo do conhecimento, parafraseando Bernard Tschumi (1996).

Por outro lado, cremos que as vanguardas são instrumentos essenciais à crítica dos modelos existentes e ao enfrentamento de novos posicionamentos frente às nuances culturais, sociais e tecnológicos. Estes posicionamentos, por vezes extremos, nos informam o estado da arte na arquitetura, com seus paradoxos e contradições. Portanto, são indispensáveis para transpor novos limites, assumindo a forma de totens culturais das sociedades às quais correspondem. Nesse contexto, adotamos a mesma posição de Dennis Dollens (2002) de que quando as arquiteturas digitais são relegadas ao gueto de fantasia,

isto é, quando são avaliadas como tecnologismo de moda por implicação de sua origem, considerando seus feitos como ‘produto menor’, se faz um desserviço para a Arquitetura. Como na maioria dos preconceitos culturais ou fobias tecnológicas, isso pode se tornar um convencionalismo que impede a observância de possíveis benefícios. Assim como a descoberta da fotografia no século XIX foi anunciada por muitos como o fim da Pintura, quando na verdade libertou a imaginação de diversos artistas rumo ao campo da arte abstrata trazendo à tona genialidades, quando carregamos esse tipo de preconceitos, nos negamos a enxergar possíveis contribuições da experimentação digital.

Apesar de certas obras carregarem doses de ‘ostentação tecnológica’ em detrimento da verdadeira significação arquitetônica e urbanística, pudemos enumerar diversos projetos com alto grau de refinamento tecnológico, mas com pouco peso financeiro. As arquiteturas digitais são produtos diretos do computador; dependem da apropriação dos arquitetos que determinam *como* utilizar as técnicas e *com que objetivos*, independentemente da ferramenta empregada. O software auxilia no processo de concepção, mas não é um instrumento de realização do projeto por si só. Os métodos computacionais descritos neste trabalho não resultam em desígnios autônomos. Mais importante ainda, os métodos computacionais podem ser utilizados para diversos fins dentro do campo de aplicações, em múltiplas plataformas e em várias etapas do processo de projeto.

Estes argumentos nortearam o tom investigativo do trabalho, orientado pela intenção de desvendar as técnicas por trás das formas. Nesse sentido, uma das principais tentativas deste trabalho foi desmitificar o pensamento comum de que as tecnologias digitais só podem ou devem ser empregadas para gerar formas retorcidas e caras, espelhadas no Museu Guggenheim de Bilbao. No percurso das descobertas, foram identificados dois procedimentos exclusivamente digitais que tem fornecido o substrato técnico para as transformações em curso: as técnicas paramétricas e algorítmicas. Embora seja muito comum tratar essas técnicas como apropriações exclusivas da vanguarda digital, elas podem causar inflexões também nos terrenos mais firmes do pragmatismo da profissão.

Os modelos BIM parametrizados são extremamente úteis como artefatos que permitem a representação completa de edifícios. Podem ser utilizados na prática comum, como substitutos dos desenhos projetivos convencionais. Dentre suas diversas vantagens figuram a automação dos processos de desenhos; a estrutura paramétrica permite que modificações em seus elementos constituintes sejam propagadas instantaneamente por todo o modelo; permitem a simulação das fases de construção; minimizam incompatibilidades entre

disciplinas do projeto, entre outras. Estas inovações no modo de representar a arquitetura ajudam a promover novas abordagens de projeto ancoradas em níveis mais elevados de integração entre a produção de formas interessantes com a viabilidade de sua materialização. Os processos computacionais relacionados com produção controlada por computador garantem acesso às possibilidades de pós-racionalização e customização em massa, disponíveis na prática corrente. Diante do forte apelo que estas inovações significam, acreditamos que os modelos BIM paramétricos ganhem terreno nos próximos anos, como dispositivos de representação.

Na prática de vanguarda, a discussão tem se dado em solos distintos. O raciocínio paramétrico/ algorítmico contesta a natureza e as hierarquias dos processos de concepção atualmente estabelecidos, ao mesmo tempo em que promove abordagens alternativas à manipulação topológica que dominou a cena da vanguarda digital nos anos 1990. As novas modalidades de uso vêm permitindo que os arquitetos explorem os recursos computacionais muito além da criação de formas exóticas que posteriormente rationalizadas. Em vez disso, têm promovido o desdobramento das capacidades computacionais em gerar obras e conceitos mais comprometidos com o meio, ao mesmo tempo em que incentiva a revisão fundamental das abordagens pós-funcionalistas que prevalecem na cena arquitetônica em geral.

Como bem colocado por Antonino Saggio (in Kolarevic, 2003), as arquiteturas digitais passaram por momentos distintos abordados neste trabalho: a dicotomia entre ‘formas livres à moda Gehry’ versus ‘tecno-racionalismo de Foster’; a fascinação momentânea trazida pela abordagem “podemos desenhar qualquer forma que os engenheiros da Arup descobriram a maneira de construí-la”; a disseminação de formas topológicas constituídas por estrutura em pórticos e pele de revestimento. Ao longo da última década, nos encontramos diante do que parece ser uma ‘fratura metodológica’, um passo adiante, das **arquiteturas digitais para as arquiteturas geradas digitalmente**, ampliando o sentido da criatividade apoiada nos circuitos computacionais e abrindo novos caminhos por explorar. Os novos métodos são experimentais e suas implicações futuras não podem ser totalmente antecipadas. A evolução desses métodos corresponde a domínios do projetar que permanecem em aberto; são conformações recentes da prática arquitetônica que deixam perguntas por responder. Por óbvio, as arquiteturas geradas digitalmente ainda dependem do desenrolar de sua própria história para responder a principal questão que paira no ambiente arquitetônico, seja entre defensores ou críticos: a que se destina?

REFERÊNCIAS

- ABEL, Chris. **Architecture technology and process**. Oxford: Elsevier, 2004.
- AISH, Robert. From intuition to precision. Digital Design: The Quest for New Paradigms [23nd eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9541183-2-4] Lisboa (Portugal) 21-24 Setembro 2005, pp. 10-14 Disponível em http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?2005_010
- ALEXANDER, Christopher. **Notes on the synthesis of form**. Harvard Paperback, 1971.
- ALMEIDA, Clarissa Ribeiro Pereira. **Entre e através: complexidade e processos de design em arquitetura**. 2006. Dissertação (Mestrado em História e teoria da Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.
- ATAMAN, Osman. **Measuring the impact of media on architectural design**. In IV Congresso da Sociedade Ibero Americana de Gráfica Digital, Rio de Janeiro, 2000.
- ARANDA, Benjamin & LASH, Cris. **Pamphlet Architecture 21: Tooling**. New York: Princeton Architectural Press, 2006.
- ASCOTT, Roy. **The architecture of cyberperception**. In **Architectural Design – Architects in Cyberspace** vol.65, n.11/12 pp. 38-41. Londres: Academy Press, 1995.
- BALTAZAR, Ana Paula. **O novo paradigma na arquitetura: a linguagem do pós-modernismo** Arquitempo nº25, junho/ 2002. Disponível em www.vitruvius.com.br.
- BANHAM, Reyner. **Arquitetura e projeto na primeira era da máquina**. 3^a ed. – São Paulo: Perspectiva, 2006.
- BARKI, José. **Representação digital e o projeto de arquitetura**. IV Congresso Ibero Americano de Gráfica Digital, Rio de Janeiro, 2000.
- BEAURECUEIL, Anne Save de & LEE, Franklin (ed.) **Articulated grounds: mediating environment and culture**. Londres: AA Publications, 2009.
- BENEVOLO, Leonardo. **A arquitetura no novo milênio**. São Paulo: Estação Liberdade, 2007.
- BUENO, Ernesto. **Consideraciones y recursos para la concepción de la forma en la arquitectura de la era digital**. Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~parcp>. Acesso em 12/08/2009.
- Algorithmic Form Generation of a Radiolarian Pavilion**. In International Journal of Architectural Computing, 2010 (no prelo): 667-688.
- BERMAN, Marshall. **Tudo que é sólido desmancha no ar**. São Paulo: Schwarcz. 2007.
- BOOLAND Jr., Richard J. & COLLOPY, Fred. **Managing as designing**. Stanford: Stanford University Press, 2004.
- BRUGGEN, Coosje van. **Frank O. Gehry: Museu Guggenheim Bilbao**. Nova York, The

Solomon R. Guggenheim Foundation: 1997.

CABRINHA, Mark. **From Bézier to NURBS: Integrating material and digital techniques through a plywood shell.** Smart Architecture: Integration of Digital and Building Technologies [Proceedings of the 2005 Annual Conference of the Association for Computer Aided Design In Architecture / ISBN 0-9772832-0-8] Savannah (Georgia) 13-16 Outubro 2005, pp. 156-169. Disponível em: http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?acadia05_156.

CAPRA, Fritjof. **O ponto de mutação.** São Paulo: Cutrix, 1982.

CARRARA, Gianfrancesco; KALAY, Yehuda; NOVEMBRI, Gabrielle. **Multi-model representation of design knowledge.** In Association for Computer Aided Design in Architecture, 1992.

CARVALHO, Kleber. **Arquitetura efêmera em feiras e exposições: um laboratório de idéias.** In II Colóquio Internacional sobre Comércio e Cidades. São Paulo, 2007.

CASTELLS, Manuel. **The informational city: information technology, economic restructuring and the urban-regional process.** Oxford: Blackwell Publishers, 1989.

CASTRO NETO, Jayme Spinola. **Edifícios de alta tecnologia.** São Paulo, 1994.

CECCATO, Cristiano. **The Architect as Toolmaker: Computer-Based Generative Design Tools and Methods,** CAADRIA '99 [Proceedings of The Fourth Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia / ISBN 7-5439-1233-3] Shanghai (China) 5-7 Maio 1999, pp. 295-304. Disponível em: <http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?5169>

CELANI, Gabriela; CYPRIANO, Débora; GODOI, Gionava; VAZ, Carlos Eduardo. **A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura.** 2006.

CHAPMAN, Jenny & CHAPMAN, Nigel. **Digital media tools.** London: John Wiley and Sons, 2007.

CHOUGUI, Ali. **The Digital Design Process: reflections on architectural design positions on complexity and CAAD,** Computing in Architecture / Re-Thinking the Discourse: The Second International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2006), 25-27 Abril 2006, Sharjah, Emirados Árabes Unidos. Disponível em : http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?ascaad2006_paper20.

DE LUCA, Francesco; NARDINI, Marco. **Behind the Scenes: Avant-garde Techniques of Contemporary Design.** Birkhäuser Basel, 2002.

DELEUZE, Gilles. **Conversações.** Tradução de Peter Pál Pelbart. São Paulo: Editora 34, 1992.

DOLLENS, Dennis. **De lo digital a lo analógico.** Barcelona: GG 100, 2002.

_____ (org.) **Genetic Architectures.** Barcelona, Lumen Books, 2003.

DUARTE, Fábio. **Arquitetura e tecnologias de informação: da revolução industrial à revolução digital.** São Paulo: FAPESP: Editora UNICAMP, 1999.

_____ **Crise das matrizes espaciais.** São Paulo: FAPESP: Editora da

Unicamp, 1999.

DAL CO; Francesco; FORSTER, Kurt W. **Frank O. Gehry: the complete works**. Nova York: Phaidon Press, 2005.

DUARTE, José. **A Discursive Grammar for Customizing Mass Housing The case of Siza's houses at Malagueira**. Digital Design [21th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9541183-1-6] Graz (Austria) 17-20 Setembro, 2003, pp. 665-674 Disponível em: http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?ecaade03_665_181_duarte

DUARTE, José; ROCHA, João. **A Grammar for the Patio Houses of the Medina of Marrakech**. Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings / ISBN 0-9541183-5-9] Volos (Grécia) 6-9 September 2006, pp. 860-866. Disponível em: http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?2006_860.

EISENMAN, Peter. **Visões que desdobram - a arquitetura na época da mídia eletrônica**. In Óculum, Campinas, n.3, PUCCAMP, 1992.

Diagram diaries. Londres: Thames & Hudson, 1999.

EVANS, Robin. **Translations from drawing to building**. Cambridge: The MIT Press, 1997.

FEFERMAN, Milton. **Transferências imagéticas na arquitetura**. Cadernos do Proarq/UFRJ/ Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro – ano 1, n°1 (set. 1997).

FRAMPTON, Kenneth. **História crítica da arquitetura moderna**. 2^a ed – São Paulo: Martins Fontes, 2008.

FRAZER, John. **An evolutionary architecture**. Londres: AA Publications, 1995.

GAROFALO, Luca. **Digital Eisenman: an office of the electronic era**. Basel: Birkhäuser, 1999.

GUATARRI, Felix. **Caosmose: um novo paradigma estético**. Tradução de Ana Lúcia de Oliveira e Lúcia Cláudia Leão. Rio de Janeiro: Editora 34, 1992.

GIBSON, William. **Neuromancer**. Nova Yorque: Ace Books, 1984.

HALABY, Jason. **Polyvalence and parametrics: parametric modeling in architecture design**. Cambrige: Harvard University Graduate School of Design, 2004.

HARVEY, David. **Condição Pós-Moderna: uma pesquisa sobre as origens da mudança cultural**. Tradução de Adail Sobral e Stela Gonçalves. São Paulo: Ed. Loyola, 1993.

HOCNEY, David. **Secret knowledge**. Londres: Thames & Hudson, 2006.

JENCKS, Charles & KROPF, Karl (org.). **Theories and manifestoes of contemporary architecture**. Londres: Academy Editions, 1997.

JENCKS, Charles. **The architecture of the jumping universe**. Londres: John Wiley & Sons, 1997.

New paradigm in architecture. Londres: Yale University Press, 2002.

- Iconic building.** Nova York: Rizzoli International Publications, 2004.
- JENCKS, Charles & KROPF, Karl (org.). **Theories and Manifestoes of Contemporary Architecture.** Londres: Academy Editions, 1997.
- JODIDIO, Philip. **Architecture now! Vol.2** Colônia: Taschen, 2003.
- Architecture now! Vol. 3.** Colônia: Taschen, 2004.
- Teoria da arquitetura.** Colônia: Taschen, 2003.
- KLINGER, Kevin; Joshua Vermillion (2005) Visualizing Revisions: Representation Implications of Digital Fabrication, SIGraDi 2005 - [Proceedings of the 9th Iberoamerican Congress of Digital Graphics] Lima - Peru 21-24 Novembro 2005, vol. 1, pp. 194-200. Disponível em : http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?sigradi2005_194.
- KOLAREVIC, Branko. **Digital architectures.** In IV Congresso Ibero Americano de Gráfica Digital, Rio de Janeiro, 2000.
- Architecture in digital age: design and manufacturing.** Nova Yorque: Spon Press, 2003.
- KOLAREVIC, Branko; MALKAWI, Ali M. **Performative architecture.** Nova York: Spon Press, 2005.
- KYMMEL, Willem. **Building Information Modeling.** McGraw-Hill Companies, 2008.
- LACOMBE, Otavio de Lima Mendes. **Diagramas digitais: pensamento e gênese da arquitetura mediada por tecnologias numéricas.** 2006. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo - Projeto, espaço e cultura) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- LANDERO, Maria Antonia. **Con decir abracadabra - La información aplicada al desarrollo de los edificios inteligentes.** Revista MOPU, vol. 362. Madrid, 1989.
- LASH, A. and BENJAMIN, C. **Pamphlet Architecture 21: Tooling.** New York: Princeton Architectural Press, 2006.
- LAWSON, Bryan. **What designers know.** Londres: Architectural Press, 2004.
- How designers think.** Londres: Architectural Press, 4^a ed., 2005.
- LE CORBUSIER. **Por uma arquitetura.** Tradução Ubirajara Rebouças. São Paulo: Perspectiva, 2002.
- LÉVY, P. **Cibercultura.** Rio de Janeiro: Editora 34, 1999.
- LINDSEY, Bruce. Digital Ghery: material resistance/ digital construction. Basileia: Birkhauser, 2001.
- LIPOVETSKY, Gilles. **Os Tempos Hipermodernos,** São Paulo, 2007.
- LYNN, Greg. Architectural curvilinearity. In Architectural Design – Folding in architecture, vol.63 n.3/4. pp.8-15. Londres: Academy Editions, 1993.

- LYNN, Greg. **Animate Form**. Nova York: Princeton University Press, 1998.
- MASSUMI, Brian. **Sensing the virtual, building the insensible**. In *Architectural Design – Hypersurface Architecture* vol.68 n.5/6 pp.16-24. Londres: Academy Editions, 1998.
- MATSUSHIMA, Shiro. **Technology-mediated process**. In Congresso da Association for Computer Aided Design in Architecture, 2004.
- McCULLOUGH, M. **Abstracting craft: the practiced digital hand**. London, England: The MIT Press, 1998.
- McLUHAN, Marshall & FIORE, Quentin. **The medium is the massage**. Londres: Penguin Books, 1996.
- MENGES, Achim. **Computational Morphogenesis**. In ASCAAD, 2007: 725-744.
- MEREDITH, Michael. From control to design: parametric/ algorithmic architecture. Barcelona, Actar-D, 2008).
- MILLS, Criss. **Projetando com maquetes**, 2^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- MITCHELL, William. The reconfigured eye: visual truth in the post-photographic era. Cambridge: MIT Press, 1992.
-
- Computer-Aided Architectural Design**. Nova York: Van Nostrand-Reinhold Company, 1977.
-
- Constructing an Authentic Architecture of Digital Era**. In FLATCHBART , Georg; WEIBEL, Peter (ed.), 2005, *Disappearing Architecture*, Birkhäuser, Basel.
-
- A lógica da arquitetura: projeto, computação e cognição**. Tradução de Gabriela Celani. Campinas: Editora Unicamp, 2008.
- MITCHELL, William J. & McCULLOUGH, Malcolm. **Digital design media**. Nova York: John Wiley & Sons, 2^a Ed., 1995.
- MONTANER, Josep Maria. **A Modernidade Superada**. Arquitetura, Arte e Pensamento do Século XX. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.
- MORIN, Edgard. **Introdução ao pensamento complexo**. Porto Alegre: Sulina, 3^a Ed., 2007.
- NEGROPONTE, Nicholas (ed). **Computer aids to design and architecture**. Nova York: Petrocelli/ Charter, 1975.
- NESBITT, Kate (org.). Uma Nova Agenda Para a Arquitetura. Antologia Teórica 1965-1995. São Paulo: Cosac Naify, 2006.
- NOVAK, Marcos. **Computational compositions in architecture**. 1988. Disponível em: www.cumincad.scix.net.
-
- Transarchitectures and Hypersurfaces**. In *Architectural Design – Hypersurface Architecture* vol. 68 n.5/6, mai/jun, 1998. Londres.

transArchitectures. In VERLAG, Heise Zeitschriften Verlag (ed.), Telepolis: Magazin Der Netzkultur, 2003.

http://www.mat.ucsb.edu/~marcos/Centrifuge_Site/MainFrameSet.html, acesso em 24/05/2009.

OENE, Bottena & ROTH, Bernard. **Theoretical kinematics**. Nova York: Elsevier, 1979.

OXAMN, Rivka. **Theory and design in the first digital age**. Oxford: Elsevier. Design Studies n°27, 2006: 229-265.

OXAMN, Rivka. **Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium**. Oxford: Elsevier. Design Studies n°29, 2008: 99-120.

PANOFSKY, Erwin. **A perspectiva como forma simbólica**. Lisboa: edições 70, 1999.

PARENTE, André (org.) **Tramas da rede**. Porto Alegre: Sulina, 2004.

PERRELA, Stephen. **Hypersurface Theory: Architecture><Culture**. In Architectural Design - Hypersurface Architecture vol.68 n.5/6, mai/jun, 1998. Londres.

PÉREZ-GÓMEZ, Alberto & PELLETIER, Louise. **Architectural representation and the perspective hinge**. MIT Press, 2000.

PIAZZALUNGA, Renata. **A virtualização da arquitetura**. Campinas, SP: Papirus, 2005.

PIEDMONT-PALLADINO, Susan (ed.). **Tools of the Imagination: Drawing Tools and Technologies from the Eighteenth Century to the Present**. Nova York: Princeton Architectural Press, 2007.

PRIGOGINE, Ilya. **O fim das certezas**: tempo caos e leis da natureza. Tradução Roberto Leal Ferreira. São Paulo: UNESP, 1996.

ROCHA, Altini João Magalhães. **Architecture Theory 1960-1980. Emergence of a computational perspective**. 2004. Ph. D. Thesis (Architecture, design and computation). Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2004.

ROGERS, David F. **An introduction to nurbs with historical perspective**. Oxford: Elsevier, 2001.

SAGGIO, Antonino. **Flying carpets**, in LINDSEY, Bruce. *Digital Ghery: material resistance/digital construction*. Basileia: Birkhauser, 2001

SEBESTYEN, Gyula. **New Architecture and Technology**. Oxford: Architectural Press, 2003.

SCHNABEL, Marc Aurel (2007) **Parametric Designing in Architecture**, Computer Aided Architectural Design Futures / 978-1-4020-6527-9 2007 [Proceedings of the 12th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures / 978-1-4020-6527-9] Sydney (Australia) 11-13 July 2007, pp. 237-250 http://cumincad.scix.net/cgi-bin/works>Show?cf2007_237

SCHNEIDLER, T. **The refashion lab: building digital matter and hybrid space**. In Proceddings ISEA 2002, Nagoya, Japan, 2002.

SHELDEN, Dennis. **Digital Surface Representation and the Constructibility of Ghery's Architecture.** 2002. Ph. D. Thesis (Architecture, design and computation). Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 2002.

SOKAL, Alan; BRICMONT, Jean. **Imposturas intelectuais.** São Paulo: Record, 1999.

SOLÀ-MORALES, Ignasi. Diferencias: topografia de la architectura contemporánea. Barcelona: GG, 1995.

SPERLING, David Moreno. **Arquiteturas contínuas e topológicas: similaridades em processo.** 2003. Dissertação (Mestrado em tecnologia do ambiente construído) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2003.

SPUYBROEK, Lars. **Nox: machinig architecture.** Londres: Thames & Hudson, 2004.

STEELE, James. Architecture and computers: action and reaction in the digital design revolution. Londres: Laurence King Publishing, 2001.

STINY, George; JAMES, Gips. **Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture.** In Proceedings of Information Processing 71, ed. C.V. Amsterdam: North Holland, 1972.

SUTHERLAND, Ivan. **Sketchpad: A man-machine graphical communication system.** 1964. Ph. D. Thesis. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1964.

SZALAPAJ, Peter. Contemporary architecture and the digital design process. Oxford: Architectural Press, 2005.

TERDIZIS, Kostas. Expressive Form: a conceptual approach to computational design. Nova York: Spon Press, 2003.

_____ **Algorithmic architecture.** Oxford: Architectural Press, 2006.

TSCHUMI, Bernard. **Architecture and disjunction.** Cambridge: The MIT Press, 1996.

TIERNEY, Therese. **Abstract Space: beneath the media surface.** Londres: Taylor & Francis, 2007.

VENTURI, Robert. **Complexidade e contradição em arquitetura.** Tradução Álvaro Cabral. São Paulo: Martins Fontes, 1995.

VIDLER, Anthony (ed.) **Architecture between spetacle and use.** Williamstown: Sterling and Francine Clark Institute, 2005.

VIRILIO, Paul. **Espaço crítico.** São Paulo: Editora 34, 2005.

ZELLNER, Peter. **Hybrid space: new Forms in digital architecture.** Nova York: Rizzoli International Publications, 1999.

ZAERA-POLO, Alejandro. Conesaciones con Frank Gehry. In El Croquis, N° 74/75 pp.6-36. Madri: El Croquis editorial, 1995.

PERIÓDICOS

ARCHITECTURAL DESIGN – Architects in Cyberspace. Vol. 65 n.5/6. Londres, Academy Editions, 1995.

_____ Hypersurface Architecture. Vol. 68 n.11/12, Londres, Academy Editions, 1998.

_____ Architects in Cyberspace II. Vol. 68, n.11/12, Londres, Academy Editions, 1998.

_____ Hypersurface Architecture II. Vol.69, n.9/10, Londres, Academy Editions, 1999.

EL CROQUIS N° 74/75. Madri: El Croquis editorial, 1995.

EL CROQUIS N° 111. Madri: El Croquis editorial, 2002.

CRÉDITO DAS FIGURAS

CAPÍTULO 1. DAS FERRAMENTAS E A REPRESENTAÇÃO NA ARQUITETURA 31

Figura 1.1: Euclid of Megara (lat: Evklidi Megaren).....	43
Pintura da série Homens Famosos, Justus de Ghent, por volta de 1474.....	43
Figura 1.2: Cúpula de Bruneleschi, Florença, 1420. Instituto Italiano di Cultura.....	45
Figura 1.3: Ferramentas analógicas. (Piedmont-Palladino, 2007)	47
Figura 1.4: Regras para desenhar colunas gregas (Piedmont-Palladino, 2007).	48
Figura 1.4: John Malton: Prancha XXV, Sombra, século XVIII (Tierney, 2007)	48
Figura 1.5: Estudos de Luz e Estudos de ótica e perspectiva (1775) (Piedmont-Palladino, 2007).....	48

CAPÍTULO 2. O PERÍODO DE GESTAÇÃO 61

Figura 2.2: Demonstração do procedimento para desenhar uma linha e um círculo (Sutherland, 2003) disponível em http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf . Acesso em 15 de agosto de 2008..	68
Figura 2.3: Regras de restrição (Imagen do documentário <i>Computer Sketchpad</i> , MIT, 1964).....	69
Figura 2.4: Regra de restrição “P” (Sutherland, 2003) disponível em http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf . Acesso em 15/08/2008.....	69
Figura 2.5: Desenhos artísticos. (Sutherland, 2003) disponível em http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-574.pdf . Acesso em 15/08/2008.....	70
Figura 2.6: Esquemas de funcionamento do Flatwriter (Almeida, 2006).....	81
Figura 2.7: Aspen Moviemap, 1979 (MIT Library) Disponível em www.mit.edu , acesso em 15/08/2009.....	83
Figura 2.8: Capela da Academia de Cadetes da Força Aérea dos Estados Unidos. Detalhes do revestimento Informações disponíveis em http://www.som.com/content.cfm/blackbox_technological_trajectory . Acesso em 15/05/2009.....	89
Figura 2.9: Ópera de Sidney. Desenho e maquete enviados ao concurso (Szalapaj, 2005).	91

Figura 2.10: Ópera de Sidney. Diagramas com a forma final. Disponível em www.ascspace.com. Acesso em 10/06/2007.....	93
Figura 2.11: Ópera de Sidney. Corte da esfera para gerar as superfícies Disponível em www.ascspace.com. Acesso em 10/06/2007.....	93
Figura 2.12: Modelo digital da silhueta da cidade de São Francisco_(Negroponte, 1975).	95
Figura 2.13: Modelo digital do edifício de escritórios_(Negroponte, 1975).....	96
Figura 2.14: Avanços na representação de modelos digitais_(Negroponte, 1975)	96
Figura 2.15: Cena do filme “2001: Uma odisséia no espaço” (1968).....	100
Figura 2.16: Computador Macintosh (1984). Disponível em www.apple.com, acesso em: 15/12/2009.....	101
Figura 2.17: Ray-tracing em 1990 e 2009. Fonte: Autodesk. Disponível em www.autodesck.com. Acesso em 14/05/2009.	104
Figura 2.18: Projeto de I. M. Pei para a <i>National Gallery East Wing</i> (Mitchell, 1992)....	107
Figura 2.19: Composição de arcos (Lynn, Animate form, 1998).....	113
Figura 2.20 Curvas nurbs (Kolarevic, 2003).	115
Figura 2.21. Manipulação de pontos de controle de nurbs no software <i>Rhinoceros</i> . Modelo: Verônica Natividade	115
Figura 2.22 Curva b茅zier (Rogers, 2001).....	116
Figura 2.23: Variações topológicas do cubo (Kolarevic, 2003).....	117
Figura 2.24: Formas topológicas: toro, fita M鶲bius e_Garrafa Klein (Kolarevic, 2003)....	118
Figura 2.25: Endless House (1950), Frederick Kiesler (Sperling, 2003).....	119
Figura 2.26: Blobs (Lynn, 1998). Modelo: Verônica Natividade.....	120
Figura 2.27: Formação de meta-esferas. Disponível em www.grasshopper3d.com. Acesso em 20/02/2010	121
Figura 2.28: ‘The Bubble’ (Kolarevic, 2003).....	122
Figura 2.29: Organização das informações parametrizadas. Disponível em www.rhino3d.com. Acesso em 19/11/2009.....	123
Figura 2.30: Escada parametrizada. Disponível em www.grasshopper3d.com. Acesso em 20/02/2010.....	124
Figura 2.31: Cobertura parametrizada. Modelo: Juliana Caloi, Pedro Veloso, Verônica Natividade. Renderização: Rodrigo Cury Paraizo, 2009.....	125
Figura 2.32: Variação paramétrica da triangulação da superfície Modelo: Juliana Caloi,	

Pedro Veloso, Verônica Natividade. Renderização: Rodrigo Cury Paraizo, 2009	126
Figura 2.35: Estação Waterloo, Londres, 1993. Arquiteto Nicholas Grimshaw (Kolarevic, 2003).....	127
Figura 2.36: Algoritmo para perfurar o cubo (Terzidis, 2006).....	129
Figura 2.37: Mobiüs Studies (Perrella, 1998)	133
Figura 2.38: Liquid Series (Novak, 1998)	135
Figura 2.39 Paracube, 1998. (Novak, 2003).....	136
Figura 2.40: Morphing (Yessios in Kolarevic, 2003)	138
Figura 2.41: Pontos-chave de animação tipo keyframe. Disponível em http://minyos.its.mit.edu.au . Acesso em 14/06/2009.	139
Figura 2.42: Estudo do movimento de um cavalo (Lynn, 1998)	139
Figura 2.43: Concurso para um ponto de ônibus em Nova Iorque (Kolarevic, 2003).....	140
Figura 2.44: Modelo de simetria, Jonh Frazer (Frazer, 1995)	141
CAPÍTULO 3. O PONTO DE INFLEXÃO.....	145
Figura 3.1: Composição criada por Van Doesburg e_Van Eesteren, 1925 (Mitchell, 2008)	153
Figura 3.2: Processo compositivo formal da Casa Guardiola. Modelo: Rodrigo Herrera Velazco. Disponível em www.youtube.com . Acesso em 27/02/2010	154
Figura 3.3: Processo compositivo formal da Casa Guardiola. Modelo: Rodrigo Herrera Velazco. Disponível em www.youtube.com . Acesso em 27/02/2010	155
Figura 3.4: Processo compositivo formal da Casa Guardiola. Modelo: Rodrigo Herrera Velazco. Disponível em www.youtube.com . Acesso em 27/02/2010	156
Figura 3.5: Edifício Sede da R.T.D, Los Angeles, 1987. (El Croquis 74/75, 1995)	157
Figura 3.6: Museu Vitra, Weil AM Rhein, Alemanha, 1989. (Bruggen, 1997).....	157
Figura 3.7: Museu Weismar (El Croquis 74/75, 1995).....	158
Figura 3.8: Museu Weismar (Dal Co; Forster, 2003)	158
Figura 3.9: Detalhamento convencional do Museu Weismar (Dal Co; Forster, 2003)....	159
Figura 3.10: Museu Weismar (Dal Co; Forster, 2003)	159
Figura 3.11: Peixe de Barcelona e modelo digital correspondente (Kolarevic, 2003)	161
Figuras 3.12: Guggenheim de Bilbao em construção (El Croquis 74/75, 1995).....	164

Figura 3.13: Museu Guggenheim. Croqui e edifício construído. (Bruggen, 1997).....	166
Figura 3.14: Maquete de estudo do espaço interno do Museu Guggenheim de Bilbao. (Bruggen, 1997)	168
Figura 3.15: Organização do fluxo de informação do projeto do Museu Guggenheim de Bilbao. (Matsushima, 2004)	170
Figura 3.16: Digitalização do Walt Disney Concert Hall (Kolarevic, 2003)	171
Figura 3.17: Aspecto da curva digitalizada (Lindsey, 2001)	172
Figura 3.18: Equivalência entre mídias de representação (Shelden, 2002)	175
Figura 3.19: Modelo matriz do Experience Music Hall. Gehry Partners (Shelden, 2002)	176
Figura 3.20: Experience Music Hall. Estudo de interferências entre as instalações representadas em azul e a estrutura. Montagem da mesma estrutura (Shelden, 2002). 176	176
Figura 3.21: Instituto Winnick Museu da Tolerância, Jerusalém. Extração de corte no Catia (Shelden, 2002)	177
Figura 3.22: Simulação das fases de construção de um edifício (Kymmel, 2008)	177
Figura 3.23: Modelo BIM do MIT Stata Center (Shelden, 2002).....	179
Figura 3.24: Modelo BIM de coordenação interdisciplinar (Shelden, 2002)	180
Figura 3.25: Métodos de racionalização para curvas planas (Shelden, 2002)	185
Figura 3.26: Racionalização da esfera_(Shelden, 2002).....	186
Figura 3.27: Planificação do domo icosaedro (Szalapaj, 2005).....	186
Figura 3.28: Panelização do Experience Music Project (Shelden, 2002)	188
Figura 3.29: Análise gaussiana de uma superfície do Experience Music Project (Shelden, 2002).....	190
Figura 3.30: Superfícies desenvolvíveis (Shelden, 2002).....	193
Figura 3.31: Superfícies regradas (Shelden, 2002)	193
Figura 3.32: <i>Weatherhead School of Management</i> . Superfícies desenvolvíveis (Shelden, 2002).....	194
Figura 3.33: Modelo wireframe do Hotel Marquês de Riscal, 2002 – 2006.	195
Análise FEM (Shelden, 2002)	195
Figura 3.34: Simulação do fluxo de ar em situação de incêndio para estudo da forma do átrio da Weatherhead School of Management (Shelden, 2002).....	195
Figura 3.35: Diagrama resumo (Matsushima, 2004).....	196

Figuras 3.36: Modelo BIM paramétrico do projeto de instalações para um hospital (Kymmel, 2008)	206
CAPÍTULO 4. FRATURAS METODOLÓGICAS NAS ARQUITETURAS DIGITAIS.....	213
Figura 4.1: Projeto para o concurso da nova biblioteca da Universidade de Rostock, Alemanha 2001 (Abel, 2004).....	214
Figura 4.2 <i>Fluxtecture</i> , Zi-Hao Chen para o Concurso FEIDAD, 2006. Disponível em www.archipass.org . Acesso em 25/02/2010.....	215
Figura 4.3: Precedentes analógicos (Kolarevic, 2003). Oca: arquivo pessoal	216
Figura 4.4: Lehrter Bahnhof, Berlin, 2002, Pongratz Perbellini Architects (Kolarevic, 2003)	227
Figura 4.5: Loft randômico da curva. Modelo: Verônica Natividade	228
Figuras 4.6: Serpentine Gallery Pavilion 2005, Álvaro Siza e Eduardo Souto de Moura (Meredith, 2008)	229
Figura 4.7: Variação paramétrica da triangulação de uma superfície Modelo: Verônica Natividade.....	229
Figura 4.7: Variação paramétrica da triangulação de uma superfície Modelo: Verônica Natividade.....	230
Figura 4.8: Smartcloud, Andrew Kudless, Nova York, 2007. Disponível em www.matsysdesign.com/2009/06/2009/smartcloud . Acesso em 15/02/2010.....	231
Figura 4.9: Variação paramétrica de elementos aplicados sobre uma superfície Modelo: Verônica Natividade.....	231
Figura 4.9: Variação paramétrica de elementos aplicados sobre uma superfície Modelo: Verônica Natividade.....	232
Figura 4.10: Algoritmo para geração de espiral. Ernesto Bueno e Verônica Natividade.	236
Figura 4.11: Mile Spiral (Aranda; Lasch, 2006)	236
Figura 4.12: Mile Spiral (Aranda; Lasch, 2006)	237
Figura 4.13: Nova estação de Florença, Arata Isosaki, 2003 (Meredith, 2008).....	239
Figura 4.14: Projeto Honeycomb Morphologies, Andrew Kudless, 2003 (Menges, 2007)	240
Figura 4.15: Estudo morfogenético. Modelo: Ernesto Bueno	242
Figura 4.16: The Radiolarian Pavilion (Bueno, 2010).....	243
Figura 4.17: Variações da gramática da forma das Casas Malagueiras	249
José Duarte, 2002 (Kolarevic, 2003)	249

Figura 4.18: Seixo parametrizado, City Hall, Londres, Foster and Parteners, 1999-2001 (Kolarevic, 2003).....	252
Figura 4.19: Seixo parametrizado, City Hall, Londres, Foster and Parteners, 1999-2001 (Kolarevic, 2003).....	252
Figura 4.20: Intervenção no Edifício do Detran-SP_(Beaurecueil; Lee, 2009)	254
Figura 4.21: Intervenção no Edifício do Detran-SP_(Beaurecueil; Lee, 2009)	255
Figura 4.22: Intervenção no Edifício do Detran-SP_(Beaurecueil; Lee, 2009)	255
Figura 4.23: Intervenção no Edifício do Detran-SP_(Beaurecueil; Lee, 2009)	256

ANEXOS

ANEXO I

Tanto historiadores quanto teóricos, arquitetos ou não, todos concordam que algo mudou na cena arquitetônica no pós-guerra. De acordo com o teórico da cultura Frederic Jameson (apud Nesbitt, 2006: 21-22), a década de 1960 foi “o período-chave de transição” entre a cultura norteada pelo projeto moderno¹¹¹ e a cultura contemporânea. Uma nova ordem mundial surgiu pautada por novos temas, como neocolonialismo, revolução verde, informação eletrônica. Segundo Kate Nesbitt (2006), essa nova ordem foi designada de diversas maneiras: capitalismo tardio, pós-industrialização e sociedade pós-industrial ou sociedade do consumo. Também foi a época dos movimentos da contracultura, do ativismo estudantil em prol dos direitos humanos, das primeiras viagens espaciais, da *Pop art*, da arte conceitual e da cultura de massa, que encontrariam na televisão seu principal veículo de difusão.

Diante desse quadro tão diverso, Ignasi de Solà-Morales (1995) explica que não houve *uma* crise na arquitetura do Movimento Moderno e sim *muitas* crises distintas. Essa pluralidade era sintomática das contradições do movimento moderno, o qual deveria ser coerente e unitário. A crise estaria em parte vinculada a certa maneira de articular o mundo do visual e, portanto também o mundo da arquitetura, a partir da visão de universo fechado e completo como totalidade acabada. O que os textos desse período em diversas disciplinas anunciam era o fim sem volta da ‘ilusão’ moderna de que a humanidade caminhava em progresso contínuo rumo à certa finalidade divina.

Diante disso, passou a ser tarefa não somente da arquitetura contemporânea como também das demais artes, a necessidade de (re)construir suas referências sobre o ar, sobre o vazio. As propostas de arquitetura deveriam ser construídas não a partir de referências estanques

111 Conforme explica David Harvey (1993), muito embora o termo ‘moderno’ tenha origens anteriores ao Renascimento, o projeto moderno entrou em foco a partir do Século XVIII. Teve como importantes bases filosóficas a racionalização e mecanização do universo, fundamentadas pelas teorias de dois cientistas e pensadores: a visão mecânica do universo de Isaac Newton (1642–1727) e a ênfase dada ao pensamento racional, sintetizada no célebre enunciado de Renée Descartes (1596–1650) “cogito ergo sum” (Capra, 1982). De acordo David Harvey, o projeto moderno “equivalia a um extraordinário esforço intelectual dos pensadores iluministas ‘para desenvolver a ciência objetiva, a moralidade e a lei universais e arte autônoma nos termos da própria lógica interna destas’. A idéia era usar o acúmulo de conhecimento gerado por muitas pessoas trabalhando livre e criativamente em busca de emancipação humano do enriquecimento da vida diária. O domínio científico da natureza prometia liberdade da escassez, da necessidade e da arbitrariedade das calamidades naturais. O desenvolvimento de formas de racionais de organização social e de modos racionais de pensamento prometia a libertação das irracionalidades do mito, da religião, da superstição, liberação do uso arbitrário do poder, bem como do lado sombrio da nossa própria natureza humana. Somente por meio de tal projeto poderiam qualidades universais, eternas e imutáveis de toda a humanidade ser reveladas” (Harvey, 1989: 23).

e pré-estabelecidas, mas sim com a necessidade de propor tanto o objeto quanto seu fundamento simultaneamente a cada passo (Solà-Morales, 1995: 67). Diversos autores como Diane Ghirardo (2002) e Demetri Porphyrios (in Nesbitt, 2006) argumentaram que a resposta à opressão estilística do movimento moderno foi a adoção de postura semelhante ao ecletismo do século XIX. O resultado foi a multiplicidade de abordagens e a pluralidade de caminhos tomados pelos arquitetos¹¹².

Em sua avaliação sobre a modernidade tecnológica nas décadas de 1960 e 1970, o filósofo Marshall Berman em seu livro *Tudo o que é sólido se desmancha no ar* (2007), o autor afirmou com base em suas próprias observações que “ser moderno é viver uma vida de paradoxo e contradição” (Berman, 2007). A mesma tecnologia que aumenta a nossa capacidade de cura e permite que o homem pise a lua também produz a bomba atômica e armas bioquímicas de destruição em massa. A confiança no poder da tecnologia em promover o bem estar humano saiu arranhada. Essa desconfiança teve suas repercussões na arquitetura. Segundo Josep Maria Montaner (1997), a vanguarda arquitetônica também atravessou uma crise entre as décadas de 1960 e 1970. Para o autor, “essa crise foi a expressão direta de uma situação geral de descrédito ao racionalismo do projeto moderno¹¹³” (Montaner, 1997).

Mas no contexto geral da crise do projeto moderno, onde é evidente a perda da fé na inovação e progresso, é bastante excepcional encontrar uma tendência arquitetônica ancorada em uma afirmação do projeto moderno cuja base conceitual permanecia fundamentada no progresso e vê na expressão tecnológica e na inovação técnica a expressão desse progresso. Solà-Morales chamou essa tendência de “hipertecnologismo experimental” como chamou Solà-Morales (1995: 59) ilustrado nas obras pioneiras de Félix Candela, Pier Luigi Nervi e Richard Buckminster Fuller, e que se constituiu como embrião do movimento *high-tech* das décadas de 1970 e 1980, principalmente nas obras de Renzo Piano, Norman Foster, Rem Koolhaas e Richard Rogers em primeiro plano. Se, por um lado, as origens do modernismo iluminista, agora postas em dúvida por diversos pensadores, sugerem que “é a ciência, isto é, o progresso racional do homem e da sociedade que

112 Ver Nesbitt, 2006: 15-87.

113 O ritmo otimista ascendente do projeto moderno foi rompido apenas com o detonar das bombas atômicas em 1945 (Harvey, 1993). Influenciado por esse momento trágico da história humana, a época do fascismo, do anti-semitismo e devastação provocada por duas grandes guerras, o ícone científico do novo período, Albert Einstein, enxergava a física como o triunfo último da razão humana sobre o mundo decepcionante e violento. Seu modo de olhar fortaleceu a oposição entre o conhecimento objetivo e o terreno do incerto e do subjetivo que dominou a segunda metade do Século XX (Prigogine, 1996: XXX).

provoca a inovação tecnológica; e se, por outro lado, é a inovação tecnológica que sustenta o progresso da arquitetura, então temos de concluir que o objetivo da arquitetura *high-tech* (...) não é outro senão a atualização dos princípios do projeto moderno, otimista, scientificista e deliberadamente racional e que tem desenvolvido suas idéias ao longo dos séculos no contexto da cultura ocidental” (Solà-Morales, 1995).

Do ponto de vista teórico, a personalidade mais influente desse período foi sem dúvida Reyner Banham. Em *Arquitetura da primeira era da máquina* (2006), Banham ofereceu uma visão geral sobre o fiasco das intenções programáticas dos grandes do movimento moderno na sua tentativa fracassada de criar uma arquitetura que respondesse diretamente às condições do mundo mecanizado contemporâneo. Ao criticar a inconsistência daquela relação da primeira era da máquina, Banham propunha de maneira implícita que deveria ser a segunda era da máquina a que deveria finalmente alcançar a relação íntima entre máquina e arquitetura desejada desde os modernos.

Segundo a crítica de Banham, a arquitetura moderna não foi ‘moderna’ o suficiente por não ter sido capaz de acompanhar verdadeiramente as inovações tecnológicas do seu tempo. Para ele, os arquitetos do período “(...) produziram uma arquitetura da Era da Máquina só no sentido em que esses monumentos foram construídos numa Era da Máquina e exprimiam uma atitude em relação à maquinaria (...)” (Banham, 2006). De acordo com esse autor, a apologia que Le Corbusier fez às máquinas de transporte, como o navio, o automóvel e o avião, era superficial e estética. O tratamento das máquinas como símbolos tecnológicos da época era mero artifício que não se propunha a desenvolver a arquitetura em sintonia direta com evolução desses artefatos. Para Banham houve, no mínimo, equívoco na interpretação da natureza da tecnologia por parte dos arquitetos. Uma das características fundamentais da tecnologia é o seu processo constante de avanço. É, portanto, diferente do posicionamento estanque desses arquitetos, fundamentado por tipos e normas pré-estabelecidos.

Banham identificou que a máquina paradigmática da segunda geração era a televisão, em função do seu poder de comunicação em massa. Banham imaginou a emergência da nova arquitetura a partir da atualização radical na forma da arquitetura modernista sob as condições de mudança da Segunda Era da Máquina. Suas críticas se situaram nos imperativos negligenciados pela base racionalista da vanguarda tecnológica moderna, para a qual a forma segue a função e/ ou a tecnologia. Banham idealizou a “imaginação Futurista da tecnologia rumo ao Expressionismo formal – freqüentemente gestual escultural, às vezes

gestual – como motivo principal do design arquitetônico não só na primeira era da máquina, mas na segunda (ou na primeira Era Pop) também” (Foster in Vidler, 2008)

Na leitura de Hal Foster (in Vidler, 2008) sobre esse posicionamento de Banham, ficou evidente que a arquitetura da ‘Segunda Era da Máquina’ imaginada por ele ostentava fortes laços com a emergente cultura Pop. Assim, Foster interpretou que para Banham, a imagem midiática seria um importante critério, assim como a sintaxe de formas abstratas o foi para a vanguarda moderna. Ao mesmo tempo, Banham reforçou a idéia de **expressionismo formal** surgido na vanguarda da primeira era da máquina, cujo meio de expressão naturalmente se daria pela **linguagem tecnológica**.

Na prática arquitetônica isso significou ‘certa ‘liberalização’ das concepções racionalistas que, sem descartar o racionalismo como fundamento, procurou humanizá-lo”. A procura por humanizar a razão significou entre outras coisas, por atenuar os paradigmas trazidos no bojo da industrialização, a qual permitiu forjar linguagem e identidade adequadas à concepção da arquitetura baseada na funcionalidade. As chaves éticas que legitimaram a arquitetura pós 1960 baseavam-se na destruição dos princípios estéticos tradicionais, ou seja, a adequação a determinadas normas ou reprodução de modelos, e na sua substituição pela produção arquitetônica como produto das experiências perceptivas elementares capazes de gerar significado através das emoções, isto é, na experimentação sensorial do espaço (Solà-Morales, 1995).

A consequência mais perceptível é que houve certa liberação das exigências estéticas previamente determinadas. “As fronteiras entre o artístico e o estritamente emotivo se tornam borradadas de forma que a arquitetura já não tem como conteúdo a criação de determinados efeitos nem a adequação a determinados conteúdos. A arquitetura, assim como todos os demais campos da criação estética, adquire a absoluta liberdade de experimentação perceptiva, o qual se traduz não só no abandono de determinados estilemas codificados pela tradição moderna senão a abertura de posições especialmente experimentais nas afeições das formas, materiais e nos espaços” (Solà-Morales, 1995: 59). Em suma, pairavam sobre a arquitetura as noções de “realização pessoal, produção experimental, plena liberdade estética, dissolução da tradição moderna como método racionalmente elaborado” (Solà-Morales, 1995), constituindo-se como pontos de apoio de diversas obras do período, sendo notadas em Avar Aalto, Richard Neutra, Richard Rogers, Luis Khan e Buckminster Fuller.

A leitura dessa transitoriedade pôde ser observada nas obras de diversos arquitetos, a começar pelo próprio Le Corbusier. Talvez tenha sido ele o caso mais significativo de humanização da razão e redefinição paradigma maquínico em sua trajetória arquitetônica. Muito embora o arquiteto não tenha esclarecido as origens de tal mudança, está claro que algo mudou em sua arquitetura nos anos do pós-guerra. Apesar da voracidade com a qual Le Corbusier defendeu os modelos para reprodução industrial em série e suas realizações eficazes nas máquinas de transporte, Jencks (apud Lacombe, 2006: 48-49) legitimou essa mudança alegando que Corbusier foi um dos protagonistas mais ativos na revolução contínua da arquitetura moderna. Um dos maiores símbolos que sustentam a hipótese da sua mudança é a Capela de Ronchamp (1950). As linhas curvas, com arestas arredondadas, inexatas suscitarão interpretações diversas das origens dessa forma inesperada de Le Corbusier.

Outro projeto icônico nesse sentido foi o pavilhão da Philips, projetado por Le Corbusier para a Feira Internacional de Bruxelas, em 1958. Na legenda da foto, Jencks escreve que a estrutura biomórfica projetada por ele era a profecia do que o próprio Le Corbusier chamou de segunda era da máquina. Temas que estavam por vir nas décadas seguintes: “corpo, biomorfismo, continuidade, emergência, drama da cosmogênese¹¹⁴ – a epítome do novo paradigma” (Jencks, 2002: 206). O que parece implícito em ambas as obras é o reconhecimento de novas possibilidades formais que considerassem a arquitetura sob ótica menos estética, menos hermética, mais humana e mais complexa.

Mas o melhor exemplo da tradução literal das relações entre tecnologia e arquitetura no período de transição entre o que Reyner Banham chamou de primeira e segunda era da época pode ser encontrada na obra de Richard Buckminster Fuller (Solà-Morales, 1995). Banham identificou em Buckminster Fuller uma das principais vozes contestadoras. Esse arquiteto produziu elementos entre artefatos tecnológicos e arquitetura propriamente dita. Suas invenções eram respostas bem específicas a problemas orientados pelo viés da técnica, constituindo-se como a melhor imagem tecnocrata daquela época. Seus projetos exprimiam a relação imediata entre necessidade e resposta tecnológica; “o máximo expoente dos ideais modernos: o feliz encontro entre tecnologia e arquitetura” (Solà-Morales, 1995).

¹¹⁴ Cosmogênese: estudo da formação do universo.

Para Füller, a ‘simplificação’ proposta por esses arquitetos era muito mais discursiva e superficial do que prática. O descarte dos ornamentos era compensado de várias maneiras: no formalismo propiciado pela estrutura livre, nas estratégias ilusionistas de sustentação, nos materiais impactantes (Banham, 2006). Em resumo, a preocupação primordial desses arquitetos foi a atualização estética alinhada ao discurso maquínico, sem, no entanto, promover o debate mais aprofundado sobre possíveis modificações da arquitetura em função das tecnologias emergentes. Nas palavras de Füller, “eles somente se preocuparam com os problemas de modificação da superfície dos produtos finais, produtos finais estes que eram subfunções de um mundo tecnicamente obsoleto” (Banham, 2006).

Tomando Fuller como guru, o grupo inglês Archigram entrou na cena arquitetônica da década de 1960 com propostas tecnológicas. Provavelmente a mais importante contribuição do grupo foi, provavelmente, que todo o seu repertório formal compartilhava da mesma concepção de produção arquitetônica como mediação. Esses repertórios foram elaborados a partir da imagem do *estado da arte* das tecnologias na década de 1960, como a conquista do espaço, as novas plataformas petrolíferas, a habitação nômade, a invasão doméstica dos eletrodomésticos, o consumo acelerado das imagens de televisão.

“(...) Todos esses ingredientes foram conjugados em propostas de arquitetura que, como alternativas que pretendiam ser, contraporiam a mobilidade à estabilidade tradicional dos edifícios históricos; as cores e formas da cultura *pop* aos repertórios e cânones da arquitetura convencional; a mensagem *multimídia* à comunicação institucionalizada própria da cultura do passado.

Acumulação, montagem, contenção, mudança, multiplicidade de impulsos, tensão e imediatismo foram alguns dos *valores* apresentados nos irônicos e às vezes utópicos desenhos e projetos de uma série de arquitetos para os quais era tão importante oferecer alternativa à arquitetura estabelecida – não somente a clássica mas também a moderna – quanto foi a necessidade de responder deste modo à situação social e cultural onde a uma nova era técnica, mecânica e eletrônica, havia irrompido por toda a civilização ocidental. A Arquitetura, mais uma vez, buscava a expressão do espírito do tempo e uma verdadeira condição moderna que não deveria ser alcançada através da adesão de repertórios formais, mas através do encontro sempre renovado entre novas tecnologias e artefatos arquitetônicos” (Solà-Morales, 1995).

Marshall McLuhan¹¹⁵ concluía o quadro teórico com uma afirmação de comunicação por meio de imagens como o novo núcleo da realidade em uma cultura que tinha passado da

¹¹⁵ McLuhan foi um dos maiores defensores do potencial de amalgamador social presente na mídia televisiva. Em *Understanding Media* (1964), o autor previu que os meios de comunicação em massa produziriam mudanças em grandes proporções nas relações humanas, nos modos de pensar e de se comunicar. Apesar da existência do rádio, do telégrafo e do cinema, para ele, o meio verdadeiramente revolucionário era a televisão. McLuhan observou que, diferentemente do cinema, a televisão trazia a possibilidade de levar a imagem associada à palavra falada em transmissão ao vivo e intercontinental, via satélite. Com isso, a televisão poderia afetar e moldar opiniões em nível global, tornando-se inclusive referência de

produção de objetos para a produção de mensagens. O apelo à conversão pansemiótica era, em McLuhan, o suporte teórico para a produção de arquiteturas efêmeras, instantâneas, mutantes, puramente comunicacionais.

Em suma, para os objetivos dessa dissertação, interessa destacar duas características fundamentais da arquitetura da década de 1960 que podem consideradas como rastros analógicos das arquiteturas digitais: **a perpetuação da expressão tecnológica na imagem da arquitetura de vanguarda e o expressionismo formal experimental**. As experimentações conceituais mais conhecidas foram abordadas pelo inglês Archigram, com os projetos da *Plug-in City*, *Living City*, *Living 1990* e *Instant City*; Buckminster Fuller e seu domo geodésico e seus protótipos de casa futurista – Dymaxion e XXXX e pelos metabolistas japoneses, liderados por Kisho Kurokawa. Nas obras construídas, além dos projetos de Le Corbusier citados acima, podem ser destacados, o Museu Guggenheim de Nova Iorque (1957-1959) de Frank Lloyd Wright, além das obras Eero Saarinen como, por exemplo, Dulles Airport, em Chantilly, Virginia, (1958-1962), o Terminal da TWA para o Aeroporto J. F. Kennedy (1957-1962) em Nova Iorque, o Yale Hockey Rink (1956-1958).

comportamento. Para ele, a palavra de ordem é a globalização, onde “o mundo instantâneo da mídia informacional envolve a todos de uma só vez”. Com esse pensamento, Mc Luhan introduziu a noção de “aldeia global”, que significava que todas as ações seriam interdependentes e, portanto, viveríamos todos sob o mesmo território informacional. Mc Luhan também previu que o mundo sob a influência da televisão privilegiaria o visual sobre os demais sentidos.

ANEXO II

No livro *Teoria e Projeto na Primeira Era da Máquina*, dedicado à revisão crítica do paradigma da máquina da primeira geração e da tecnologia análoga na arquitetura, Banham declarou que a intenção de produzir a arquitetura autêntica da era da máquina falhou. O que não significa que obras-primas não tenham sido construídas, como o Pavilhão de Barcelona de Mies Van der Rhoe (1928) e a Villa Savoye (1930), de Le Corbusier. Tal como acontece com as obras-primas na arquitetura, exprimem “um ponto de vista dos homens em relação ao meio que circundam” (Banham, 2006). Nesse sentido, em ambos os casos é possível apreciar alguns paradoxos e contradições entre discurso e prática da vanguarda tecnológica no início do Século XX. As bandeiras levantadas do *Funcionalismo*, do *Racionalismo* e a rejeição do simbolismo em favor da abstração da forma arquitetônica fundamentada por sólidos platônicos puros são discutíveis nessas duas obras. Segundo Banham (2006), o pavilhão de Mies, por exemplo, é “tão puramente simbólico na intenção que o conceito de funcionalismo teria de ser distendido a ponto de tornar-se irreconhecível antes de poder ser aplicado – tanto mais quanto não é fácil formular exatamente em termos racionais o que é que ele pretendia simbolizar”. Em sua visão, Mies trabalhou com diversas fontes simbólicas que se expressam em todo o edifício. A começar pela composição dos planos verticais e horizontais que remetem à noção de continuidade entre espaço interior e exterior.

A partir desses dois edifícios muito bem sucedidos e exaustivamente estudados por diversos pesquisadores é possível perceber que não existe critério único, tal como o Funcionalismo capaz de explicar totalmente o significado dessas obras. Aqui ficou claro que a ‘emoção’ representou papel muito maior do que a razão, numa atitude claramente formalista e distanciada de alguns princípios ideológicos modernos, pelo menos no discurso. Isso posto, são abertos os caminhos para as críticas sobre os verdadeiros ensejos e avaliações que os arquitetos que percorreram caminhos similares a Le Corbusier, Mies Van der Rhoe e Walter Gropius faziam do que poderia ser a arquitetura tecnológica da Era da Máquina. Para Banham, suas leituras chegaram perto, mas não satisfizeram plenamente.

Segundo sua crítica, a arquitetura moderna não foi ‘moderna’ o suficiente e não foi capaz de acompanhar verdadeiramente as inovações tecnológicas do seu tempo. Para ele, os arquitetos do período “(...) produziram uma arquitetura da Era da Máquina só no sentido em que esses monumentos foram construídos numa Era da Máquina e exprimiam uma atitude em relação à maquinaria (...)” (Banham, 2006). De acordo com esse autor, a apologia que

Le Corbusier fez às máquinas de transporte, como o navio, o automóvel e o avião, era superficial e estética. O tratamento das máquinas como símbolos tecnológicos da época era mero artifício que não se propunha a desenvolver a arquitetura em sintonia direta com evolução desses artefatos.

Banham identificou em Buckminster Füller uma das principais vozes contestadoras. Para Füller, a ‘simplificação’ proposta por esses arquitetos era muito mais discursiva e superficial do que prática. O descarte dos ornamentos era compensado de várias maneiras: no formalismo propiciado pela estrutura livre, nas estratégias ilusionistas de sustentação, nos materiais impactantes (Banham, 2006). Em resumo, a preocupação primordial desses arquitetos foi a atualização estética alinhada ao discurso maquinico, sem, no entanto, promover o debate mais aprofundado sobre possíveis modificações da arquitetura em função das tecnologias emergentes. Nas palavras de Füller, “eles somente se preocuparam com os problemas de modificação da superfície dos produtos finais, produtos finais estes que eram subfunções de um mundo tecnicamente obsoleto” (apud Banham, 2006).

ANEXO III

Em 1989, Peter Weibel (apud Duarte, 1999) chamou de *arquitetura virtual* aquela “que se constrói como uma interface mediada por máquinas inteligentes entre os usuários e o ambiente, numa relação comunicacional de entrada (input) e saída (output), onde cada ação do usuário se reflete no conjunto ambiental ou nas próprias modificações do ambiente se refletem na apreensão espacial do usuário – essas relações trazidas de um para o outro por computadores e dispositivos eletrônicos.” Nesse sentido, a noção de arquitetura virtual não significa somente representar a arquitetura em programas de modelagem em 3D. Na arquitetura virtual, segundo o autor, existe necessariamente a interface homem/ máquina/ ambiente. O interior da arquitetura virtual não é dado somente pela constituição de paredes e tetos, mas por configurações do espaço vinculadas às posições tomadas no tempo pelos usuários.

Cabe ressaltar que o termo de Weibel não se referia propriamente ao uso de modelos digitais, mas à reconfiguração do espaço efetuada pelas máquinas sensíveis, capazes de interpretar as situações. Um dos primeiros exemplos de arquitetura virtual foi construído no início da década de 1980. O Instituto do Mundo Árabe, projetado por Jean Nouvel foi construído em Paris entre 1982 e 1987, à margem esquerda do Rio Sena. O edifício foi construído para abrigar o cervo de arte árabe existente na França e divulgar a produção artística histórica e contemporânea desses povos (Duarte, 1999).

O aspecto mais interessante desse edifício são as janelas compostas por diafragmas metálicos fotossensíveis controlados por computador. As células fotossensíveis das fachadas captam a luminância externa e, através de sistemas eletrônicos, traduzem essas informações aos diafragmas que abrem ou fecham recriando constantemente figuras na fachada que recuperam o imaginário formal árabe. Dessa maneira, o nível de iluminação das salas é adequado digitalmente em função dos trabalhos nelas desenvolvidos.

O edifício contém referências históricas da arquitetura árabe desde a volumetria até os detalhes da fachada: “como os pátios internos aos blocos; o grande pátio entre os edifícios; a trama de cabos de aço das escadas; a rampa helicoidal resgatando, de acordo com o próprio arquiteto, as torres babélicas; e, sobretudo a grande fachada quadriculada e cristalina com desenhos geométricos que resgatam temas de pinturas, tapeçarias e os

mushrabiyyas, usados nas aberturas externas dos edifícios muçulmanos” (Duarte, 1999)

“Com a incorporação de processos tecnológicos eletrônicos, Jean Nouvel trabalha a função do edifício com os dados relativos à sua inserção em determinado local (Paris), com fatores metafóricos mutantes e formas artísticas inerentes ao conteúdo do projeto: o mundo árabe. E também, com os meios eletrônicos, elabora e dá vida a esse imaginário com o resgate temporal de ancestrais mosaicos, cujas origens vão longe no tempo, mas que são reformulados constantemente no presente contínuo das condições de iluminação do ambiente. Passado e futuro: Presente(s) dos diálogos eletrônicos” (Duarte, 1999).

Um exemplo mais recente e também mais elucidativo desse conceito específico de Weibel com novas contribuições é o pavilhão da H₂Oexpo (1993-1997) projetado pelo grupo holandês Nox. O edifício não abrigava exposições no sentido convencional. As imagens e sons exibidos dependiam das atividades dos visitantes, que por sua vez também eram induzidas pelas mudanças constantes das imagens e sons. Segundo seu autor, Lars Spuybroek (2005), o edifício está “além do entendimento tecnológico comum de ‘interatividade’, aqui isso não significa simplesmente que o edifício é um ambiente com ares de transformação através de intervenções tecnológicas e sim uma arquitetura que se transforma.” O pavilhão de exposições era equipado com sensores que reagiam ao movimento dos visitantes, gerando novas “configurações” do espaço conforme o movimento. A geometria do edifício também é gerada e transformada por meio de interações a forma começa com um tubo simples feito de elipses que são re-escaladas de acordo com o programa e depois são deformadas em função das influências locais, como por exemplo, direção do vento, mudanças nas dunas de areia e o fluxo de visitantes.

Cabe ressaltar que o conceito de arquitetura virtual é distinto de **edifícios inteligentes**. Segundo o IBI (Intelligent Buildings Institute dos EUA), edifícios inteligentes são aqueles que oferecem um ambiente produtivo e econômico através da otimização de quatro elementos básicos: Estrutura (componentes estruturais do edifício, elementos de Arquitetura, acabamentos de interiores e móveis), Sistemas (controle de ambiente, calefação, ventilação, ar-condicionado, luz, segurança e energia elétrica), Serviços (comunicação de voz, dados, imagens, limpeza) e Gerenciamento (ferramentas para controlar o edifício), bem como das inter-relações entre eles.

Nos finais dos anos 70, os sistemas HVAC (Sistema de Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado) foram os primeiros sistemas de edifícios a serem eletronicamente

controlados. Os chips de computadores propiciaram o controle destes sistemas, através de sensores localizados, permitindo alterações rápidas e precisas das condições climáticas. Esta tecnologia fomentou o início do desenvolvimento da idéia de tornar os edifícios “dotados de inteligência”, podendo assim responder aos requisitos do ambiente natural. Entretanto não existia integração alguma.

O conceito de “smart building” apareceu nos EUA por volta da década de 80. Por definição, o smart building é aquele que utiliza a tecnologia para diminuir os custos operacionais, eliminar os desperdícios e criar uma infra-estrutura adequada para aumentar a produtividade dos usuários. Também nos anos 80, apareceram os sistemas de automação de segurança e iluminação, mostrando coordenação entre componentes do mesmo sistema. Com a crise energética, várias alternativas foram utilizadas para reduzir o consumo. Após a constatação de que 1/3 da energia utilizada no mundo era consumida pela construção civil, mais precisamente pelo setor de edificações Landero (1989), surgiu a necessidade de uma administração mais eficaz da energia através da utilização de novos recursos tecnológicos. Surgem os primeiros edifícios com sistemas automatizados.

ANEXO IV

Na continuação de sua história da pós-modernidade arquitetônica, o pesquisador Charles Jencks editou seu último capítulo com o livro *The new paradigm in architecture* (2002). Nesta obra, Jencks mantém seu ritmo teórico, se restringindo à análise de produtos arquitetônicos geralmente construídos para formalizar suas considerações sobre as novas características arquitetônicas observadas na produção contemporânea. Em *The new paradigm of architecture* (2002), Charles Jencks identificou de sete tendências ou sete arquiteturas contemporâneas que se utilizaram do computador para a sua produção, mas não necessariamente de modo essencial. Sua classificação é basicamente iconográfica, ignorando certas considerações metodológicas. As sete arquiteturas contemporâneas cujos precursores são arquitetos como Frank Gehry, Daniel Libeskind e Peter Eisenman são: 1. Fractal, cujos exemplos são na maioria projetos de Libeskind e Eisenman usando fractais na geração da forma, bem como da planta, fachada, volumetria e padronização de revestimento; 2. Organitech, ecotech ou green architecture, que tem Ken Yeang como pioneiro em seus projetos de tendência ‘hightech’ com preocupação ambiental, além do conhecido Norman Foster; 3. Computer science, que se utiliza da computação para gerenciar dados no intuito de integrar maior diversidade de fatores, tendo Rem Koolhaas, MVRDV e Ben van Berkel; 4. Blob, cujo maior expoente é Greg Lynn, Will Alsop, Frank Gehry, Peter Eisenman entre outros; 5. Landforms, waves, gerada a partir da ondulação do piso, como a estratégia adotada por Enric Miralles, o Yokohama Port Terminal do FOA e a Cidade da Cultura em Santiago de Compostela, projetado por Peter Eisenman; 6. Nova cosmogênese, referindo-se à aplicação dos modelos atuais de investigação do universo na arquitetura, incluindo diversos exemplos como os jardins do próprio Jencks e a obra de Neil Denari, cuja forma é identificada com o modelo dobrável do universo (*manyfold universe*) proposto pelo físico Stephen Hawking; e finalmente 7. New form monumental building, seguindo o rastro do Efeito Bilbao.

Uma das primeiras tentativas de registrar em categorias a produção especificamente digital pode ser creditada a Branko Kolarevic, com o artigo *Digital architectures* (2000) apresentado no Congresso da ACADIA no ano de 2000. O arquiteto pesquisador se baseou nos princípios geradores das formas para classificar as recém surgidas arquiteturas digitais. Kolarevic propôs seis categorias metodológicas, não necessariamente referenciadas a obras construídas: topológica, paramétrica, metamórfica, isomórfica, evolutiva e arquitetura animada. De modo geral, todas as arquiteturas classificadas por Kolarevic podem ser

consideradas superfícies topológicas parametrizadas, a exceção da “arquitetura evolutiva”. Além disso, suas categorias não separam processos exclusivamente digitais, como aqueles empregados por Novak na “arquitetura paramétrica” ou Frazer na “arquitetura evolutiva” daqueles cujas raízes metodológicas estão vinculadas aos processos analógicos, como a “arquitetura topológica” exemplificada por Frank Gehry.

A **Arquitetura Topológica** é originada por meio de deformações de superfícies nurbs, gerando arquiteturas com aspecto de tiras de papel enroladas sobre si mesmas. Essas superfícies nurbs são parametrizadas, isto é, as deformações causadas pela manipulação de seus pontos de controle são reverberadas nos campos de atuação paramétrica. As arquiteturas topológicas são curvilíneas, transformacionais, sua, organização é não-hierárquica, complexa e contínua.

O conceito de **Arquitetura Animada** é creditado ao arquiteto Greg Lynn, um dos primeiros a utilizar software usados para fazer animações não para representar, mas para gerar novas formas. Segundo Lynn, o modo corriqueiro de empregar a animação na arquitetura elimina o efeito das forças físicas que ocorrem durante o movimento de um objeto. A tentativa de Lynn é incorporar esses efeitos na forma: “*animate design* é definida pela co-presença de moção (motion) e força no movimento da concepção (Lynn, 1998). A força aplicada sobre o objeto dispara o movimento e determina as deformações. Para o arquiteto, moção implica em movimento e ação. Já animação (animate) implica na evolução da forma e das forças que incidem sobre a forma.

Segundo Kolarevic (2000), a **Arquitetura metamórfica** é gerada basicamente pela técnica de *morphing*. Nesta técnica, o objeto A é hibridizado com o objeto B a partir da escolha de pontos que relacionam um objeto ao outro e de uma trajetória que define ‘estados de deformação’. É feita sobre modelos parametrizados. O software computa os estados intermediários de deformação, como em animações ‘keyframe’. É um processo essencialmente formalista que gera espécies de ‘quimeras arquitetônicas’.

No seu artigo, Kolarevic exemplifica a **Arquitetura Paramétrica** com os projetos artísticos de Novak, explicados no Capítulo 2. No desenrolar das arquiteturas geradas digitalmente ao longo dos anos 2000, a parametrização foi incorporada como uma técnica de base para o controle holístico de objetos dentro do modelo tridimensional. Como foi visto, essa técnica é utilizada em diversas apropriações metodológicas. Podemos reinterpretar a arquitetura paramétrica de Kolarevic como a arquitetura que usa a parametrização como base técnica,

mas com a intenção de gerar novas formas digitalmente.

A **arquitetura evolutiva** é baseada no refinamento evolutivo dos modelos como processo de geração da forma arquitetônica por meio de algoritmos (Frazer, 1995). Nesta abordagem de projeto, de acordo com Frazer (1995), "os conceitos arquitetônicos são expressos como regras geradoras de modo que sua evolução e desenvolvimento podem ser acelerados e testados com o uso de modelos de computador. Os conceitos são descritos em uma linguagem genética que produz um script código de instruções para a geração da forma. Os modelos de computador são usados para simular o desenvolvimento de formas prototípicas que depois são avaliadas com base no seu desempenho em um ambiente simulado. Um grande número de passos evolutivos pode ser gerado em um curto espaço de tempo e as formas emergentes são muitas vezes inesperadas".

Na continuação da investigação dos aspectos metodológicos das arquiteturas digitais, James Steele (2001) diferenciou a produção em quatro tipos básicos que parecem pertencer a estágios diferentes na cadeia evolutiva arquitetônica. O primeiro é o método tradicional de concepção analógica onde o computador é utilizado estritamente para representação de produtos finais. O segundo também é fortemente embasado por princípios tradicionais, mas ao mesmo tempo são intrinsecamente dependentes do computador para serem materializados. Notadamente, este é o caso de Frank Gehry, como pôde ser notado no Capítulo 3 dessa dissertação. No terceiro caso, arquitetos como Eric Owen Moss fazem uma espécie de 'processo híbrido' de concepção, onde diversas mídias digitais e analógicas são revezadas na geração da forma. No curso do projeto, Moss desenha sobre as renderizações tridimensionais e reintroduzidas no computador, onde serão redesenhas em mídias eletrônicas. No quarto e último caso, Steele cita o exemplo mais radical, onde o computador é usado como "alter-ego" (Steele, 2001) no processo de geração da forma. É o caso das investigações algorítmicas de John Frazer e Karl Chu. Este último associou os princípios de 'arquitetura líquida', transformações naturais e algoritmos para gerar formas extremamente complexas (Steele, 2001). Ambos os arquitetos produzem 'arquiteturas de papel'.

A pesquisadora e professora Rivka Oxman em seu notável artigo *Theory and Design in the first digital age*, publicado na revista *Design Studies* em 2006 (233-265) publicou a cuidadosa investigação sobre o conteúdo singular das arquiteturas digitais, comentada na introdução deste Capítulo. Neste artigo, Oxman propôs a definição de categorias metodológicas como fonte de extração e definição de conceitos que servissem como base para formulação da teoria de projeto digital. Segundo metodologia de pesquisa rigorosa e

fundamentada, a expectativa era alcançar a distinção de processos metodológicos únicos capazes de produzir resultados significantes exclusivos e demonstrá-los didaticamente.

Um dos princípios balizadores primordiais de sua abordagem é a centralidade do designer em meio ao processo, ou seja, não importa o grau de complexidade do processo ou a sofisticação da mídia e ferramenta, o controle sobre o processo é creditado ao usuário e a concepção é baseada na interação e reflexão entre designer e mídia. Assim, Oxman emprega variáveis oriundas da cultura metodológica arquitetônica geral, como “representação, geração, avaliação e performance” (Oxman, 2006) para estabelecer ‘pontos fixos de referência’ como etapas conceptivas. A autora avaliou a natureza da interação entre designer e mídia, bem como o tipo de produto gráfico gerado para estabelecer como as ferramentas digitais são inseridas nesse conjunto de etapas preestabelecidas.

Oxman sugere dois tipos básicos de interação designer-mídia. Nas *interações implícitas*, o computador não é utilizado, prevalecendo os modos analógicos de projeto. Nas *interações explícitas*¹¹⁶ o designer emprega as ferramentas digitais como recurso de projeto. Dentro das interações explícitas há três modalidades básicas de interação em função da ferramenta utilizada: representações geradas com ferramentas CAD tradicionais; interação com estruturas digitais geradas pela ferramenta de acordo com o conjunto de regras e restrições

Vencida essa etapa explicativa do procedimento teórico adotado, Oxman sugere cinco modelos metodológicos de concepção de arquiteturas digitais: modelos CAD [tradicionais], modelos de formação, modelos generativos, modelos baseados em desempenho [subdivididos em ‘de formação’ ou generativos] e modelos de integração composta [constituído por todos os anteriores, são a sugestão de Oxman para a evolução desses modelos]¹¹⁷. Em 2008, Oxman publicou novo artigo na revista Design Studies intitulado *Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium*, onde mantém os três mais relevantes: **modelos de formação, generativos e baseados em desempenho**.

¹¹⁶ Esse tipo de denominação – processo implícito e explícito – é comum entre estudiosos de metodologias de concepção arquitetônica com base no digital. Os processos ‘explícitos’ são assim denominados porque, desde os primeiros estudos do computador na arquitetura (ver Capítulo 2), a utilização da máquina deveria se dar por processos ‘rasteáveis’ de modo que pudessem gerar uma sequência de passos simulada pela máquina.

¹¹⁷ Considera-se desnecessária a explicação sobre os ‘modelos CAD’ tradicionais, posto que se repete ao longo dessa dissertação e de ‘integração composta’, já que diz respeito a um modelo ainda por formular.

Diferentemente da abordagem de Kolarevic (2000), Oxman faz distinções mais precisas entre as técnicas específicas e as apropriações metodológicas. Sua classificação é mais técnica e menos iconográfica, se comparada com Kolarevic. Distinções mais claras são feitas entre os modelos de formação e os modelos generativos. Enquanto os primeiros são baseados em descrições paramétricas, os segundos dizem respeito ao uso de algoritmos. Do ponto de vista técnico, os modelos baseados em performance podem ser considerados como uma maneira de se apropriar das técnicas ‘de formação’ ou ‘generativas’. Os modelos baseados em desempenho geralmente são modelos parametrizados que são submetidos às análises FEM e CFD e que posteriormente são ajustados para se adequar aos resultados das análises¹¹⁸.

Ademais, o exemplo que Oxman oferece do ‘terminal de ônibus’ de Nova Iorque proposto por Greg Lynn só pode ser considerado exemplo para ilustrar o projeto baseado em desempenho sob o ponto de vista conceitual, visto que o arquiteto a intenção do arquiteto não eram produzir uma forma exeqüível ou mesmo habitável. Da mesma maneira, os exemplos do *Swiss Re* e *Great London Authority* de Norman Foster partem de formas pré-definidas, reajustadas no software de análise FEM, a exemplo dos projetos de Gehry. Não obstante, é uma das investigações mais abrangentes e sistematizadas a cerca do fenômeno digital.

Os **modelos de formação** as ferramentas digitais são empregadas basicamente para efetuar operações de manipulação geométrica e controle topológico. Enquanto os aspectos geométricos e relações estruturais entre partes são definidas a forma final não é. Esse pensamento interativo de busca formal essencialmente paramétrico dá nome ao modelo de forma+ação = *formação*, ou ‘em processo de formação’. Por conta disso, estes modelos sugerem a redefinição do nicho da representação.

Nos modelos de formação o suporte digital não está mais associado ao espaço abstrato e idealizado do plano cartesiano. Neste caso, as noções tradicionais de representação não só são negativas como até mesmo improdutivas. A nova mídia é um espaço dinâmico que implica na redefinição da representação, agora indissociável do próprio objeto em formação. No lugar das formas serem representadas explicitamente, elas são definidas por meio de regras geométricas entre entidades do modelo digital. Apesar do alto grau de interação com

¹¹⁸ Ver capítulo 3 dessa dissertação.

a mídia, a preocupação com as qualidades formais e geométricas é evidente. Além disso, por ser interativo, o processo é altamente visual, em certa medida substituindo o desenho convencional nesse sentido.

Como subcategorias, a autora sugere classificações similares às de Kolarevic (2000): **modelos topológicos** (topological formation models), **modelos paramétricos** (associative design formation models) e **modelos baseados em movimento** (motion-based formation models). Fundamentalmente, partem dos mesmos princípios das arquiteturas “topológica”, “paramétrica” e “animada” (Kolarevic, 2000).

O **Modelo generativo** é o produto da “projetação de ou a interação com a emergência de formas derivadas de regras, relações e princípios generativos. A interação tem grande prioridade nesse processo, já que nas técnicas generativas, existe a necessidade de o usuário interagir constantemente com o sistema, alterando as regras para atingir certas soluções desejadas” (Oxman, 2006). A técnica digital de base é a utilização de algoritmos de diversos tipos e com diversas intenções formais. Oxman sugere duas subcategorias associadas aos processos generativos: **gramática da forma** e **modelos evolutivos**.