

Allan Kardec José Araújo Prado

**O ato criador do arquiteto mediado por computador:**

um estudo sobre o uso de ferramentas computacionais  
na fase conceitual do projeto arquitetônico

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Heliana Comin Vargas

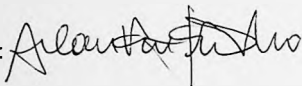
Dissertação apresentada à Faculdade de Arquitetura e  
Urbanismo da Universidade de São Paulo para a obtenção  
do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

São Paulo  
2005



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

ASSINATURA:



E-MAIL: allan.k@terra.com.br allan.prado@fanor.com.br

Prado, Allan Kardec José Araújo  
P896a O ato criador do arquiteto mediado por computador: um estudo sobre o uso de ferramentas computacionais na fase conceitual do projeto arquitetônico / Allan Kardec José Araújo Prado. - - São Paulo, 2005.  
149 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - FAUUSP.  
Orientadora: Heliana Comin Vargas.

1. Computação gráfica 2. CAD 3. Projeto de arquitetura  
4. Criatividade I. Título

CDU 681.3:741

## **DEDICATÓRIA**

Ao meu sobrinho Joseph. Que em seu tempo, a universidade brasileira continue pública e gratuita.

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora Dr<sup>a</sup> Heliana Comin Vargas, por acreditar sempre, e tornar possível este trabalho.

Aos colegas do mestrado, em particular ao sempre disponível amigo Paulo Costa.

Ao Professor Lemenhe do CAU-UFC

À minha mãe, por ter proporcionado as bases sem as quais este trabalho não seria possível.

Aos meus irmãos, pelo exemplo de trabalho e honestidade a ser seguido.

Em especial à Cristiane, por tornar a vida mais bela, e me fazer querer vivê-la intensamente.

## RESUMO

Este trabalho parte da constatação que, a despeito do uso intensivo de ferramentas computacionais em diversas fases do projeto arquitetônico, o ato criador do arquiteto permanece basicamente inalterado, e o diálogo arquiteto-computador na fase conceitual do projeto ainda é incipiente. Considerando as diversas possibilidades que os recursos computacionais podem oferecer na intermediação do processo criativo, este trabalho teve como objetivo principal investigar o ato criador do arquiteto e a interface arquiteto-máquina no âmbito dos programas CAD (*Computer Aided Design*), de forma a diagnosticar algumas de suas deficiências e sugerir novas abordagens para futuras aplicações. Para tanto, apresenta inicialmente reflexões sobre o pensamento criativo do arquiteto e o desenho como seu principal instrumento. O reflexo da revolução tecnológica na conformação da sociedade contemporânea, e o surgimento do conceito de espaço virtual são também discutidos. Finalmente, baseado nos conceitos de Interação Homem-Computador (IHC), passou-se à análise qualitativa da Interface de dois diferentes programas CAD considerados representativos, dando ênfase à maneira como estes auxiliam / interferem no processo criativo do arquiteto.

## **ABSTRACT**

This work starts with the assumption that, in spite of the intensive use of computational tools in several phases of the architectural design, the architect's thinking process remains unchanged, and the computer-architect dialogue during the conceptual phase is still incipient. Considering the different possibilities offered by computers concerning creative thinking mediation, the main aim of this work is to investigate the architect's thinking process and the human-machine interface within the scope of CAD programs, in order to detect some of its deficiencies and suggest alternative approaches for future development. Firstly some reflections about the architect's creative thinking are presented, revealing sketching as his principal design tool. The consequences of technological revolution within contemporary society and the new notion of virtual space are also discussed. Finally, based on Human-Machine Interaction concepts, a qualitative analysis of two different CAD packages interfaces was carried out, emphasizing the way they are able to improve / interfere in architect's creative process.

# SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>   | <b>08</b> |
| 1.1 Objeto e problema  | 08        |
| 1.2 Objetivos  | 12        |
| 1.3 Aspectos metodológicos   | 13        |
| <b>2. CRIAÇÃO E COGNIÇÃO EM ARQUITETURA</b>                                | <b>15</b> |
| 2.1 O pensamento criativo  | 15        |
| 2.2 Ser criativo em arquitetura  | 25        |
| 2.3 A especificidade da arquitetura e seu principal instrumento: o desenho | 28        |
| 2.3.1 O desenho como representação   | 28        |
| 2.3.2 O desenho no processo de criação                                     | 32        |
| 2.3.2.1 Os diagramas   | 38        |
| 2.3.2.2 O croqui   | 43        |
| <b>3. ARQUITETURA TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO</b>                             | <b>48</b> |
| 3.1 A sociedade da informação  | 49        |
| 3.2 Arquitetura digital  | 56        |
| 3.3 Projeto arquitetônico mediado por computador                           | 59        |
| 3.3.1 O reflexo do uso do CAD no cotidiano do arquiteto                    | 65        |
| 3.3.2 CAD e criatividade   | 66        |
| 3.3.2.1 A experiência de Gabriela Celani                                   | 68        |
| 3.3.2.2 O Design Machine Group   | 74        |
| 3.4 Objetivos da tecnologia  | 79        |
| <b>4. PROGRAMAS E INTERFACES</b>   | <b>85</b> |
| 4.1 Interação Homem-Computador (IHC)                                       | 85        |
| 4.1.1 Interface  | 86        |
| 4.1.2 O fator humano na interface  | 88        |
| 4.1.3 Eficiência de uma interface  | 92        |
| 4.1.4 Estilos de interface   | 95        |
| 4.1.5 Avaliação de interfaces  | 98        |
| 4.2 A Interface nos sistemas CAD e o processo criativo                     | 100       |
| 4.2.1 Desenho Digital  | 100       |
| 4.3 Ferramentas CAD.   | 108       |
| 4.3.1 Geração da forma em programas CAD                                    | 111       |
| 4.3.2 CAD conceitual   | 114       |

|  |     |
|--|-----|
| 4.4 Avaliação de interfaces em programas CAD | 115 |
| 4.4.1 A interface do AutoCAD                 | 117 |
| 4.4.1.1 Escala                               | 120 |
| 4.4.1.2 2D / 3D                              | 120 |
| 4.4.1.3 Ordem / Desordem                     | 126 |
| 4.4.1.4 Desenho / Escrita                    | 126 |
| 4.4.1.5 Ambigüidade / Precisão               | 127 |
| 4.4.1.6 Análogo / Digital                    | 127 |
| 4.4.1.7 Estático / Dinâmico                  | 128 |
| 4.4.2 A interface do SketchUp                | 129 |
| 4.4.2.1 Escala                               | 130 |
| 4.4.2.2 2D / 3D                              | 130 |
| 4.4.2.3 Ordem / Desordem                     | 133 |
| 4.4.2.4 Desenho / Escrita                    | 133 |
| 4.4.2.5 Ambigüidade / Precisão               | 133 |
| 4.4.2.6 Análogo / Digital                    | 134 |
| 4.4.2.7 Estático / Dinâmico                  | 134 |
| 5. CONCLUSÕES                                | 137 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS                | 143 |



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 OBJETO E PROBLEMA

Não há dúvidas sobre a importância que as ferramentas computacionais adquiriram no fazer projetivo, esteja este ligado à Arquitetura, à Engenharia ou ao *Design*. De fato, não mais se imagina nenhuma atividade nestas áreas onde o uso do computador não esteja presente em alguma etapa do trabalho. A atividade do arquiteto, mais especificamente, tem passado por mudanças significativas desde a introdução de programas computadorizados no âmbito de sua profissão. A prancheta já não é mais seu equipamento símbolo, visto que muitas das etapas do desenho agora são realizadas diretamente no computador. A documentação gráfica fica agora a cargo das impressoras de grandes formatos (*Plotters*) e o intercâmbio de informações entre profissionais se dá, na maioria das vezes, entre arquivos digitais.

De fato, é inegável o impulso que o computador veio dar nos aspectos quantitativos do processo de projeto. Tarefas como a execução de desenhos repetitivos, correções, revisões, cópias diversas, dimensionamento e outras tantas que antes demandavam tempo e esforço, agora são realizadas em muito menos tempo e com precisão absoluta. Os recursos de modelagem em três dimensões também permitem uma rápida visualização volumétrica do edifício e a construção de perspectivas cônicas e axonométricas que em seguida podem ser tratadas de forma foto-realística, impressionam clientes e consumidores. O intercâmbio de informações entre os diversos profissionais envolvidos na obra também foi facilitado de forma extraordinária, o que veio culminar na criação dos projetos colaborativos, onde as diversas informações e documentos sobre a obra são compartilhados via rede digital, de forma instantânea. O ciclo de vida do edifício pode agora também ser acompanhado, dando origem aos chamados edifícios inteligentes, monitorados dia e noite por sensores eletrônicos. Soma-se a isso a capacidade colocada à disposição do arquiteto e engenheiro do uso de formas

não euclidianas, permitindo desenhá-las e calculá-las de forma exata e rápida. Se não há dúvidas sobre a importância do uso desta máquina, permanece, no entanto, uma séria controvérsia em torno da suposta capacidade que estas novas ferramentas teriam em auxiliar a gênese do projeto arquitetônico, inserindo um ganho qualitativo.

Não há até aqui, no entanto, indícios de que este novo leque de ferramentas venha auxiliando o arquiteto de forma significativa nas primeiras etapas do projeto. O processo criativo permanece basicamente inalterado, sendo o croqui ainda o instrumento de criação por excelência. Toma-se pouco ou nenhum partido de outros tantos recursos que poderiam vir a auxiliar o profissional nas primeiras decisões acerca do projeto. A sigla CAD, acrônimo de *Computer Aided Design*, em inglês, **Projeto** Auxiliado por Computador, adquiriu uma tradução errônea de **Desenho** Auxiliado por Computador, mas que na verdade reflete o verdadeiro *status* que esta ferramenta adquiriu. Na maioria dos casos os programas CAD são simplesmente isto, verdadeiras pranchetas eletrônicas destinadas unicamente à automação do processo de desenho.

Investigando os primórdios da história do CAD, no entanto, descobre-se que a princípio este não era o objetivo desta invenção. Os primeiros sistemas tinham em foco a pesquisa de como o computador poderia ser capaz de auxiliar na resolução de problemas de projeto. Nesta época, era comum a falsa idéia de que a máquina poderia vir a substituir totalmente o homem nas mais variadas atividades, o que de certa forma gerava um preconceito e até mesmo temor contra o seu uso. Do seio das universidades onde as primeiras pesquisas tomaram forma os sistemas CAD invadiram o mercado, tomando partido da popularização dos PC's. Nesta transição, muitos dos seus objetivos primordiais foram esquecidos. Os pacotes comerciais requisitaram um alto grau de standardização, a fim de atingir o maior número de consumidores possível. Com isso concentraram-se nos recursos mais genéricos e simplistas, acabando por serem adotados somente como instrumentos de

desenho e representação. De fato, o software mais utilizado pelos escritórios de arquitetura, e que se tornou padrão de mercado, não consiste em um aplicativo específico para a área, mas um programa genérico, utilizado nas mais variadas áreas, tais quais Engenharia Civil, Mecânica e Desenho Industrial. A pesquisa de aplicativos mais especializados voltados para as etapas conceituais do projeto ficou, portanto, restrita aos círculos acadêmicos.

Como era de se esperar, o CAD, também, logo encontrou seu espaço na formação acadêmica do arquiteto. Esta inserção ocorreu, entretanto, de uma forma até certo ponto aleatória, menos por uma reflexão de sua real necessidade e mais por uma pressão do mercado, já que a universidade não poderia fechar os olhos a uma realidade já instituída na prática profissional. O resultado mais instantâneo desta súbita e pouco pensada inserção foi a adoção de disciplinas de Informática aplicada nos currículos das mais diversas universidades. Estas disciplinas acabaram reforçando os aspectos simplistas e mais imediatos da aplicação do CAD, configurando-se como meros cursinhos onde os alunos eram ensinados a manipular os recursos de desenho dos softwares, sem haver uma maior reflexão sobre as novas possibilidades que estes poderiam disponibilizar em termos de auxílio ao projeto.

Percebe-se, no momento atual, uma forte tendência em retomar a atenção para o lado mais conceitual do CAD, seja pelo trabalho recente de arquitetos mundialmente conhecidos e renomados, como Peter Eisemann e Frank Gehry, seja pelo número crescente de grupos de pesquisa voltados para o assunto (ACADIA, eCAADe, SIGRADI) e pela grande quantidade de encontros, simpósios e seminários sobre o tema. A verdade é que a resistência em considerar o computador como um auxiliar eficiente na gênese do projeto tem diminuído significativamente, e a idéia arraigada deste ser apenas mais um instrumento de desenho começa a ser revisada.

Porém, ainda há muito trabalho a ser feito no sentido de aproximar o computador ao arquiteto, principalmente no momento mais íntimo da criação. Até agora nenhum conjunto de instrumentos foi mais eficiente do que a conexão cérebro-mão-papel no instante em que as primeiras idéias visuais são traduzidas em representações gráficas. E, nenhum modelo digital demonstrou a mesma riqueza de idéias, interpretações e possibilidades diversas embutidas na irregularidade de um croqui feito à mão livre. O fato é que o gestual utilizado no diálogo arquiteto-máquina difere muito do gestual há séculos empregado no momento da criação. Parece emergir um conflito entre os diferentes hemisférios cerebrais: O direito, emocional e criativo, responsável pela sensibilidade e inspiração súbita; e o esquerdo, racional e cartesiano, tendo que se ater à precisão dos cliques, à memorização de comandos e à exatidão das medidas.

Configura-se, desta forma, um nítido problema de Interação Homem Computador, ou mais precisamente um problema de Interface Arquiteto-Programa. O resultado deste fato é que o processo criativo continua privado das inúmeras e promissoras possibilidades que a computação oferece, por uma incapacidade de comunicação efetiva entre as partes. Questiona-se, neste ponto, que profissionais são responsáveis pela pesquisa e design destas Interfaces e se estes estão realmente aptos a identificar as reais necessidades do usuário; no caso, os arquitetos.

Essa pesquisa nasce, portanto, da inquietação de um momento em que os avanços tecnológicos se apresentam aos olhos, mas em que se constata a existência de um abismo entre ato criativo e tecnologia. Desta forma, parte-se da premissa que não há como aproximar, de forma qualitativamente produtiva, as novas ferramentas digitais ao processo de projeto sem haver um estudo cuidadoso da íntima relação entre arquiteto-computador durante a gênese do projeto, das suas características e deficiências. Este estudo demanda uma

investigação minuciosa dos aspectos cognitivos envolvidos no ato criador do arquiteto e uma análise detalhada do estado-da-arte quanto aos recursos e interface dos principais aplicativos utilizados.

Vale ainda ressaltar que o processo em curso na atividade do arquiteto faz parte de um momento de transformação global que ora se assiste e que, na verdade, trata do surgimento de uma nova ordem social, baseada na Tecnologia da Informação. Tal qual as revoluções Agrícola e Industrial, esta nova revolução provoca profundas modificações nos modos de produção, faz surgir novos valores e conceitos e introduz novos paradigmas. Atualmente, o processo de fabricação do edifício se aproxima do processo de fabricação industrial, tomando partido inclusive de novas tecnologias digitais onde componentes são moldados por máquinas atreladas a computadores. Novas expressões são cunhadas denotando a emergência de novas arquiteturas resultantes deste processo: Arquitetura Digital, Arquitetura Híbrida, Arquitetura Isomórfica são exemplos destas novas nomenclaturas. Assim, mais do que um simples modismo ou tendência efêmera, a introdução destas novas tecnologias na arquitetura se configura como uma demanda da nova sociedade. E, saber utilizá-las de forma consciente e crítica é uma premissa para que nestes novos tempos o arquiteto continue a exercer sua profissão de forma livre e criativa, visando sempre à melhoria da qualidade do ambiente construído e de nossas cidades.

## **1.2 OBJETIVOS**

Ante ao exposto, este trabalho tem como objetivo principal investigar mais atentamente como e quando o computador pode ser inserido no processo do projeto arquitetônico, em especial na sua etapa de concepção, de forma que este venha a promover um ganho qualitativo significativo.

Espera-se ainda contribuir na busca de Interfaces mais amigáveis e que se adequem de forma mais natural ao gestual do arquiteto no âmbito dos programas CAD, de forma a revelar as limitações de uso das ferramentas computacionais instituídas no mercado e demonstrar recursos existentes alternativos para o processo de concepção do edifício.

É também objetivo deste trabalho, contribuir, no âmbito da escola de Arquitetura, para a reestruturação das disciplinas relacionadas ao tema, em especial as que tratam de projeto auxiliado por computador, de forma que direcionem o aluno para um uso mais criativo e eficiente de tais recursos.

### **1.3 ASPECTOS METODOLÓGICOS**

Investigar o ato criador mediado por computador pressupõe uma discussão teórica sobre variados tópicos, apresentados nos dois capítulos iniciais, seguida de uma análise da interface e recursos de dois diferentes programas CAD e na avaliação destas ferramentas levando em consideração seus potenciais em auxiliar / incrementar o processo criativo.

Por se tratar de assunto ligado à tecnologia da informação, objeto de pesquisa relativamente recente e que traz em sua essência o germe da constante atualização, destaca-se a importância do grande número de artigos publicados em anais de encontros e simpósios diversos, bem como do trabalho de pesquisa realizado recentemente nos programas de pós-graduação de universidades brasileiras que notadamente se configuram centros de excelência sobre o tema.

Desta forma, a dissertação apresenta em seu primeiro capítulo, o ato criador do arquiteto, explorando-se, previamente, o conceito de criatividade e pensamento criativo e o que os mesmos significam em arquitetura.

Em seguida investigou-se mais a fundo o processo de pensamento gráfico do arquiteto tendo o desenho como principal instrumento. Neste sentido foi pesquisada a importância com que as variadas modalidades gráficas envolvidas nos processos criativos e cognitivos se inserem nas primeiras etapas do projeto arquitetônico.

O segundo capítulo aborda questões mais amplas sobre o reflexo da revolução tecnológica na conformação da sociedade contemporânea, em especial na relação entre as pessoas e no surgimento do conceito de espaço virtual. Também foi analisada a influência destas transformações no processo de produção do espaço construído e na emergência de novas nomenclaturas para supostos novos tipos de arquitetura. Em seguida explorou-se o processo de aproximação entre pensamento computacional e projeto arquitetônico e o advento do CAD (*Computer Aided Design*), demonstrando como diferentes estudos têm procurado aproximar as ferramentas computacionais ao momento de criação do projeto. Por fim, estabeleceram-se quais seriam os resultados esperados destas novas tecnologias de forma que estas realmente venham a proporcionar um ganho qualitativo no projeto arquitetônico.

O terceiro capítulo abordou, inicialmente, o conceito de Interface e como este extrapola a noção puramente computacional. A partir desta noção foram investigados os principais conceitos relativos à Interação Homem-Computador (IHC) e de que forma esta disciplina apresenta importantes subsídios para o projeto e avaliação de interfaces dos aplicativos computacionais. Em seguida foram estudadas as peculiaridades do desenho digital e as significativas diferenças entre este e o desenho tradicional. Por fim passou-se à análise qualitativa da Interface de dois diferentes programas CAD considerados representativos, dando ênfase na maneira como estes auxiliam / interferem no processo criativo do arquiteto, seguida pelas conclusões desta análise embasadas no referencial teórico discutido.

## 2. CRIAÇÃO E COGNIÇÃO EM ARQUITETURA

Investigar a criatividade é sem dúvida uma tarefa difícil, na medida em que se trata de um conceito até certo ponto subjetivo, envolvendo processos cerebrais em grande parte ainda desconhecidos dos cientistas. Em adição a isso, estudar a criatividade envolve, além de aspectos psíquicos e fisiológicos, conceitos de naturezas comportamental e cultural, ampliando, desta forma, o campo de estudo de maneira muito vasta. De fato, ser criativo em *design* e arquitetura pode significar muito mais do que ser capaz de conceber formas inovadoras. Descobrir soluções para problemas diversos, coordenar grupos de trabalho, compatibilizar as diversas variáveis envolvidas em um projeto pode demandar um grau de criatividade que extrapola o caráter puramente estético e formal. Neste capítulo será investigado, portanto, o processo criativo do arquiteto desde as fases iniciais do projeto, tentando esclarecer como as diversas condicionantes influenciam o processo mental de criação de formas e soluções, e como este espaço mental começa a se traduzir em representações físicas, e gráficas. Por conseguinte, obter-se-á uma noção de como estes meios de representações auxiliam / limitam a produção de espaços com as características inicialmente desejadas.

### 2.1 O PENSAMENTO CRIATIVO

O estudo do processo criativo na Arquitetura requer adentrar em disciplinas diferenciadas, tais quais a Psicologia, Ciências Cognitivas, Inteligência Artificial e Educação, cada qual com importantes contribuições para a compreensão da área, mas que, por vezes, propõem conceitos conflitantes. Outra dificuldade diz respeito à freqüente impossibilidade de dissociar a Criatividade da Inteligência ou do próprio Pensamento, uma vez que tais faculdades humanas estão intimamente interligadas.



Neste sentido, Lawson (1986) realiza uma abordagem das diferentes correntes da psicologia que se dedicaram a estudar o processo do pensamento humano, ao mesmo tempo em que procura traçar um paralelo com a atividade típica de um *designer*. O autor identifica três principais escolas cujas contribuições são consideradas relevantes nesta tentativa de compreensão do pensamento humano: o Behaviorismo, a Gestalt, e a mais recente, a abordagem da Psicologia Cognitiva.

Os behavioristas acreditavam que a inteligência humana consiste na existência de um único processo básico: a formação de associações através de conexões entre estímulo e resposta. Os padrões de pensamento resultariam, portanto, de uma escolha pessoal dentre uma variedade de respostas que estariam associadas a um estímulo específico. A escolha seria feita através da seleção da conexão mais significativa, sendo que estas conexões poderiam ser fortalecidas ou enfraquecidas através da experiência da vida. Esta teoria não foi muito bem sucedida em explicar o pensamento inteligente, mas demonstrou de forma satisfatória processos de aprendizado e aquisição de habilidades físicas, como nas célebres experiências utilizando ratos em labirintos, onde ao se depararem com o estímulo apresentado pela bifurcação, escolhiam a resposta mais adequada (entre *direita* ou *esquerda*), acabando por aprender o percurso que conduzia à saída correta numa seqüência de tentativas erro-acerto. Segundo Lawson (1986), este modelo de pensamento associativo encontra mais aplicação no campo do pensamento imaginativo do que no estudo de atividades de solução de problemas, típicos da arquitetura.

Neste sentido a escola da Gestalt deu um passo adiante, pela sua tradição em pesquisa no campo do pensamento dedicado à resolução de problemas. Os teóricos do pensamento da Gestalt concentraram seus estudos no **processo** e na **organização**, ao invés de focar no **mecanismo**. Wertheimer (1945, apud LAWSON, 1986) via a atividade de resolução de problemas através de um processo onde as relações

estruturais de uma determinada situação eram detectadas e, então, reorganizadas até que uma solução fosse percebida. Esta reorganização mental, segundo o autor, é conseguida através de vários modos de manipulação mental, tais quais a redescrição do problema e o uso de analogias, processo que forma a essência de algumas técnicas de projeto recentemente sugeridas. Os estudiosos desta escola também estavam interessados na percepção e na importância do contexto no pensamento. Markus (1969, apud LAWSON, 1986), listou quatro fontes básicas de informações numa situação de projeto: a experiência própria do *designer*, a experiência de outros *designers*, pesquisa existente e novas pesquisas. *"Talvez seja a inevitável combinação destas fontes que contribui para o comportamento aparentemente aleatório do designer, às vezes chegando subitamente a conclusões aparentemente intuitivas, outras vezes fazendo progressos de forma muito vagarosa"* (LAWSON, 1986) (tradução do autor) <sup>1</sup>

A mais recente abordagem da Psicologia Cognitiva vê o homem como um organismo mais adaptável e genuinamente inteligente, em contraste com a teoria behaviorista. Assim como os estudiosos da Gestalt, esta escola também destaca a influência do contexto no qual os problemas são percebidos, e lida com funções operacionais ao invés de mecanismos físicos. O advento do computador e da teoria da informação também veio trazer novos métodos de pesquisa sobre o processo de pensamento. Alguns pesquisadores neste campo propuseram teorias onde a atividade de resolução de problemas é estudada baseada em modelos de programas de computadores. Os psicólogos cognitivos seguem esta nova corrente com reserva, enfatizando a diferença entre homem e máquina: *"[...] os seres humanos não são de forma alguma neutros ou passivos com relação ao processamento das informações que lhe chegam. Ao invés disto, eles dão atenção somente ao que lhes interessam, registrando e reformulando tais informações de maneiras complexas."* (NEISSER, 1967, apud

---

<sup>1</sup> "It's perhaps the inevitable mixing of these sources which contributes to designers' seemingly random behaviour, sometimes apparently intuitively leaping to conclusions whilst at other times making very slow progress."

LAWSON, 1986) (tradução do autor)<sup>2</sup>. Segundo Lawson, a contribuição mais importante da abordagem cognitiva ao pensamento é o reconhecimento de um certo tipo de função executiva na mente humana. Uma vez que a psicologia cognitiva parte do princípio que a informação é ativamente reformulada e reconstruída na memória, ao invés de registrada passivamente, algum mecanismo deve comandar este processo. Caso esta teoria se prove correta, pode-se esperar mais descobertas quanto ao processo de criação dos arquitetos, pois parece ser esta função executiva a responsável pela maneira como estes desviam sua atenção de uma parte de um problema para outra, permitindo reorganizar a percepção em diferentes configurações.

Outra distinção que é comumente feita diz respeito aos tipos de pensamento utilizados nas diferentes tarefas envolvidas no processo de resolução de problemas. Kyatake (2004) cita dois tipos principais de elementos cognitivos envolvidos neste processo:

- a) o **conhecimento**, ou o conjunto de fatos e princípios organizados, pertencentes a algum domínio;
- b) o **conhecimento extensivo**, aplicado para gerar soluções aos problemas novos, ou seja, as heurísticas, regras e operações que as pessoas aplicam para gerar soluções aos problemas.

Lawson (1986) também discorre sobre estas classificações, citando os chamados pensamentos **racional** e **imaginativo**. O pensamento racional é considerado objetivo, direcionado a uma conclusão particular enquanto

---

<sup>2</sup> "humans are by no means neutral or passive towards incoming information. Instead, they select some parts for attention at the expense of others, recording and reformulating them in complex ways."

o imaginativo parte da combinação de materiais não claramente estruturados e aparentemente sem objetivo definido.

Tais classificações coincidem com a distinção entre pensamentos **divergentes** e **convergentes**. A noção de convergência e divergência foi introduzida por Guilford, em 1967. O pensamento convergente refere-se à capacidade de uma pessoa recordar, reconhecer e resolver, e é medido pelos testes de QI. O pensamento divergente, diversamente, refere-se à capacidade de inventar, explorar e arriscar. (KIATAKE, 2004).

Nota-se, portanto, uma clara tendência a uma distinção entre dois grupos de pensamentos: o primeiro, considerado focado, objetivo e racional, é comumente associado às ciências exatas à resolução de problemas lógicos. Este tipo de pensamento requer habilidades dedutivas a fim de se chegar a uma resposta supostamente correta. O segundo grupo, desfocado, sem objetivo definido e imaginativo, se associa ao desenvolvimento das atividades artísticas em geral. Vale ressaltar que esta divisão, embora didaticamente útil, pode não representar o que realmente ocorre na prática, e nem se pode afirmar que em qualquer atividade se utilize apenas de um destes tipos de pensamento exclusivamente. Muitos problemas, mesmo em disciplinas aparentemente lógicas, tais quais engenharia e computação, podem ser resolvidos de forma criativa e imaginativa. Alguns tipos de arte, por sua vez, podem ter uma estrutura lógica e definida. **O processo de projeto arquitetônico é uma típica atividade que engloba ambos os tipos de pensamento.** Se por um lado há uma demanda por uma resposta a uma situação de projeto que envolve aspectos lógicos e quantitativos, tais quais programa, custo e questões estruturais, por outro há a necessidade de resolver tais itens de forma plasticamente agradável e espacialmente rica. Esta combinação de requisitos, somado ao fato de não haver uma única resposta a um problema de projeto, é o que provavelmente torna esta tarefa ao mesmo tempo desafiadora, mas particularmente gratificante. Desta especificidade provém também a

dificuldade de se estabelecer um método<sup>3</sup> para projeto de arquitetura e a conseqüente complexidade do ensino de projeto.

Esta duplicidade de pensamentos - racional ou imaginativo, divergente ou convergente - é freqüentemente associada a diferentes partes do cérebro. A abordagem clássica, segundo Hyman (apud KIATAKE, 2004) atribui ao hemisfério esquerdo cerebral as funções dedutivas, derivativas, específicas, lógicas, rígidas e lineares; e ao direito as funções indutivas, integrativas, gerais, imaginativas, nebulosas e não lineares. Segunda esta classificação, estimular a criatividade pressuporia estimular as funções do hemisfério direito através de procedimentos que levem à superação das barreiras que dificultam o acesso ao pensamento criativo. Segundo Alencar (apud KIATAKE, 2004), novos estudos sobre o funcionamento do cérebro têm sido realizados recentemente, através de pesquisas que extrapolam essa especialização cerebral e propõem que a criatividade não é um talento único, mas uma combinação de diferentes tipos de pensamento – analítico, verbal, intuitivo e emocional – cada um controlado por uma região distinta do cérebro, sendo que cada indivíduo teria um estilo de pensamento dominante, de acordo com a sua preferência por um dos quatro tipos de pensamento relacionados.

Já a definição de criatividade e indivíduo criativo não tem tido absoluto consenso no âmbito da psicologia, com pesquisadores apontando em diferentes direções. Alguns enfatizam a importância em se dissecar o ato criativo através do mapeamento do processo como um todo. Outros se ocupam em tentar identificar as características

---

<sup>3</sup> Método do grego *methodos* significa buscar um conhecimento ou um modo de investigação. Meta significa: com ou partilhando, e, odos, significa caminho. É, geralmente, usado como um meio de atingir um fim através de procedimentos ordenados ou arranjos sistemáticos sobre o tema. (FEYERABEND, Paul. *Against Method*. revised edition. Londres:Verso. 1988:14. Apud JOHNSON. op. cit. 1994:253)

do indivíduo criativo, focando na diferença entre personalidades. Outros, ainda, vêem a criatividade como uma habilidade que pode ser aprendida e praticada.

Rego (2001) listou algumas definições de criatividade apresentadas por Alencar (1995):

"O termo pensamento criativo tem duas características fundamentais, a saber: é autônomo e é dirigido para a produção de uma nova forma".Suchman, 1981.

"Criatividade é o processo que resulta em um produto novo, que é aceito como útil, e/ou satisfatório por um número significativo de pessoas em algum ponto no tempo".Stein, 1974.

"Criatividade representa a emergência de algo único e original".Anderson, 1965.

"Criatividade é o processo de tornar-se sensível a problemas, deficiências, lacunas no conhecimento, desarmonia; identificar a dificuldade; buscar soluções, formulando hipóteses a respeito das deficiências; testar e retestar estas hipóteses; e, final-mente, comunicar os resultados".Torrance, 1965.

Fica claro que em todos estas definições o conceito de criatividade está relacionado ao surgimento de algo novo, de uma idéia original ou ao aperfeiçoamento de uma idéia ou objeto existente.

Cabe salientar ainda a relação estreita entre os processos criativos e cognitivos, embora historicamente estes dois tópicos tenham sido tratados como coisas separadas. Stein (apud REGO, 2001) argumenta:

Os processos cognitivos dizem respeito aos processos psicológicos envolvidos no conhecer, compreender, perceber, aprender etc. Eles fazem referências à forma como o indivíduo lida com os estímulos do mundo externo: como o sujeito vê e percebe, como registra as informações e como acrescenta as novas informações aos dados previamente registrados.

Como se pode perceber nesta definição, o processo cognitivo, ou seja, o processo de aquisição de conhecimento está intimamente ligado à percepção e à forma como a mente processa esta informação.

Rego (2001) afirma:

Parece que só poderemos abordar separadamente os processos cognitivos e os criativos por uma escolha metodológica, que vise a facilitar a compreensão da temática trabalhada. Embora se conheçam as relações entre os hemisférios cerebrais e as atividades criativas e cognitivas, que são mais bem exercidas por um deles (que normalmente apresentam desenvolvimento desigual, relacionado com o tipo de treinamento a que é submetido o indivíduo, principalmente através da educação), sabe-se, também, que o cérebro procura trabalhar em conjunto. Um lado tenta superar as dificuldades do outro. Para que esse processo de complementaridade seja eficiente, é preciso desenvolver as habilidades referentes aos dois hemisférios de maneira equilibrada. Esse equilíbrio, seguramente, aumentará o potencial criador do indivíduo.

Arnheim (1969) aborda a questão enfatizando que a percepção em si já implica um certo tipo de inteligência: *"[...] Meu argumento é que as operações cognitivas chamadas de pensamento não são privilégio de processos mentais que vão além da percepção, mas são os constituintes essenciais da própria percepção... não há diferença básica a esse respeito entre o que acontece quando uma pessoa observa o mundo diretamente e quando ela senta com os olhos fechados e pensa".*(tradução do autor)<sup>4</sup>

Este argumento sintetiza o que autor classifica de pensamento visual, ou seja, a habilidade humana em adquirir conhecimento simplesmente no ato de observar uma realidade, contrariando a idéia mais comumente aceita de que percepção e pensamento são processos separados.

---

<sup>4</sup> "My contention is that the cognitive operations called thinking are not privilege of mental processes above and beyond perception but the essential ingredients of perception itself... there is no basic difference in this respect between what happens when a person looks at the world directly and when he sits with his eyes closed and thinks."

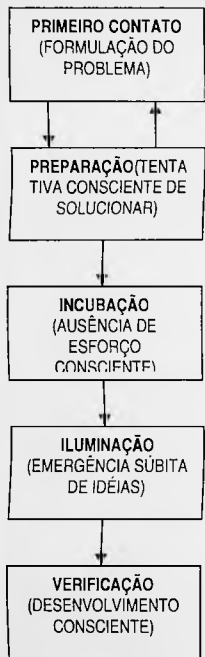


Fig 1: Os cinco estágios do processo criativo. Fonte: LAWSON (1986)

Segundo Lawson (1986, as primeiras tentativas de descrever o processo criativo não foram feitas por psicólogos, mas por pensadores, citando Helmholtz e Poincaré, que descreveram um período de investigação inicial do problema, seguido por uma etapa de repouso aparente. A solução viria de uma maneira súbita e inesperada, necessitando de posterior elaboração consciente, desenvolvimento e verificação. De fato a maioria dos pesquisadores parece concordar com um modelo do processo criativo englobando estas fases. Lawson apresenta um esquema onde são citadas cinco etapas: (Fig. 1)

Os **primeiros contatos** envolvem o reconhecimento de que um problema existe e o compromisso em resolvê-lo. Problemas de projeto, a princípio, raramente são inteiramente claros e muito esforço é despendido a fim de entendê-los completamente.

A próxima etapa, a **preparação**, envolve muito esforço consciente a fim de descobrir uma possível solução para o problema. Existe freqüentemente um fluxo grande de informações entre a primeira e a segunda fase, quando o problema pode ser reformulado ou completamente redefinido.

Este período é freqüentemente seguido por um outro denominado fase de **incubação**, que deixa de envolver esforço aparente, e que geralmente resulta na súbita emergência de uma solução – a **iluminação** ou inspiração. Isto pode explicar os relatos de arquitetos que descrevem a emergência de uma idéia súbita ao despertar ou após um período de repouso.

Uma vez que a idéia surgiu, existe um período final de **verificação** onde a solução é testada e desenvolvida.



Embora este modelo revele a existência de uma seqüência linear do processo criativo, Lawson enfatiza que a ocorrência de cada fase não se dá de maneira totalmente isolada. Por sua vez, a ênfase usualmente dada ao momento de inspiração parece não condizer com o que acontece na prática. A emergência da solução, embora possa ocorrer de maneira súbita, decorre mais de esforço prévio e elaboração consciente do que de algum tipo de inspiração divina.

Segundo Stroeter (apud VARGAS 2002) os métodos adotados por alguns artistas no processo criativo podem auxiliar nesta compreensão, dos quais podem ser destacados os de dois famosos arquitetos: para Le Corbusier seu método era ruminar as idéias até que elas se mostrassem viáveis e boas. Só realizava o projeto quando as idéias estavam maduras o suficiente, como explicara a respeito do Hospital de Veneza. Para Oscar Niemeyer o mais importante no projeto é a idéia, o partido arquitetônico. Quando desenha sua idéia, a faz acompanhar de um texto explicativo (design talking), buscando mostrar que se não tiver argumentos suficientes, é porque não está satisfatório.

Guilford (apud REGO, 2001) destaca os fatores que contribuem para a constituição de operações intelectuais que favorecem o processo criativo:

**Fluência:** habilidade em gerar um número relativamente grande de idéias na área de atuação do sujeito.

**Flexibilidade:** aspecto do pensamento que implica uma mudança de algum tipo, na estratégia de realizar uma tarefa ou na própria direção do pensamento.

**Originalidade:** o aspecto inovador.

**Elaboração:** facilidade de acrescentar variedade de detalhes a uma informação, produtos ou esquema, cujo papel nas produções criativas se expressa pela progressão do tema.

**Redefinição:** as transformações, revisões ou outras modalidades de mudanças na informação.

**Sensibilidade para problemas:** a habilidade de ver defeitos, deficiências em situações aparentemente normais.

Já Ostrower (1987) destaca a capacidade de fazer associações como o fator preponderante na ampliação da imaginação, que, por sua vez, constitui-se no centro do processo criativo:

Provindo de áreas inconscientes do nosso ser, ou talvez pré-conscientes, as associações compõem a essência de nosso mundo imaginativo. São correspondências, conjecturas evocadas à base de semelhanças, ressonâncias íntimas em cada um de nós com experiências anteriores e com todo um sentimento de vida.

## 2.2 SER CRIATIVO EM ARQUITETURA

Segundo Mahfuz (2003) existe grande confusão a respeito do que seria criatividade em arquitetura. Segundo o autor tal fato implica em efeitos nocivos para a prática da arquitetura, "[...] pois uma noção equivocada por parte dos leigos leva a uma demanda por objetos com os quais a arquitetura não deveria se envolver e, basear uma prática sobre uma noção errada de criatividade significa produzir arquiteturas irrelevantes."

Para Mahfuz (2003) esta idéia de algo novo em arquitetura é comumente ligada ao imprevisto, ao insólito, ao surpreendente, cuja obtenção é dependente de um talento superior inato. Predomina, portanto, a visão de que

a criatividade não pode ser desenvolvida ou ensinada, pois se trata de um "dom divino". Assim, o indivíduo é ou não é criativo, sem meio termo. Alencar (apud REGO, 2001) ressalta, entretanto, que pesquisas mais recentes têm defendido a idéia de que qualquer indivíduo apresenta um certo grau de habilidades criativas e que estas podem ser desenvolvidas e aprimoradas por meio de treinamento e prática. Essa postura sobre a criatividade e os processos criativos ressalta a importância da preparação do sujeito (disciplina, dedicação, esforço consciente, trabalho prolongado, conhecimento amplo de uma área do saber) como fator fundamental para a produção criativa. Concepções errôneas de criatividade justificam, portanto, os freqüentes elogios conferidos a edifícios de aparência estranha, cuja lógica é, por vezes, difícil de entender. Segundo Mahfuz parece haver uma correlação entre criatividade e variedade, movimento, impacto visual, e outras categorias que levam ao estranhamento, o que por outro lado faz com que a simplicidade e a elementaridade sejam vistas como sinônimos de monotonia e falta de criatividade.

É realmente comum entre estudantes dos primeiros anos a idéia de que a criatividade reside quase unicamente na capacidade de criação de formas inusitadas e extravagantes. Estes mesmos estudantes se deslumbram quando se deparam com as inúmeras possibilidades que o computador oferece em termos de criação de volumetrias atípicas, passando estes recursos a representarem o que consideram de mais revolucionário no uso destas ferramentas. Sem dúvida a experimentação com novas formas e a relação entre elas faz parte do aprendizado da geometria tridimensional e plástica dos objetos, e esta espécie de atividade lúdica contribui para o aperfeiçoamento da visão espacial e amplia o repertório de soluções volumétricas. O que deve ser enfatizado, no entanto, é que brincar com volumes não pode ser considerado arquitetura, e tampouco ser criativo em arquitetura se resume em inventar e reinventar formas inovadoras. Segundo Mahfuz, "[...] *toda atividade criativa é essencialmente solução de problemas*". Neste aspecto, o autor ressalta a diferença entre arquitetura e artes plásticas, explicando que nestas últimas os problemas são autoimpingidos,

consciente ou inconscientemente, enquanto na primeira os problemas são externos à disciplina e podem ser mais ou menos restritivos à liberdade do autor.

Parece evidente, portanto, que as verdadeiras demonstrações de criatividade só acontecem quando o indivíduo se depara com um problema real, e que para tanto, muito mais do que um dom divino ou uma inspiração súbita faz-se necessária preparação prévia, conhecimento e trabalho prolongado. Desta forma, “[...] *o criativo (ou artístico) em arquitetura se revela como um modo superior de resolver, através da forma, os problemas práticos que definem um dado problema arquitetônico.*” (MAHFUZ, 2003)

Qual seria o problema da Arquitetura, então? Sem dúvida muitos. O uso, o custo elevado, a permanência dos edifícios, a adequação histórica e cultural, entre muitos outros. Qualquer solução tida como “criativa” que não se justifique por um destes itens corre o risco de significar maiores custos sem necessariamente representar um ganho qualitativo.

Mahfuz (2003) conclui seu pensamento afirmando:

[...] não há nada de criativo em projetar e construir objetos de forma inusitada, empregando geometrias complicadas e caracterizados por diagonais, pontas e outras complicações formais, principalmente porque os recursos citados não respondem a nenhum problema real... A verdadeira criatividade em arquitetura reside em resolver seus problemas específicos por meio da síntese formal do programa, do lugar e da técnica, resultando em objetos dotados de identidade formal intensa, a qual deriva do emprego de critérios tais como a economia de meios, o rigor, a precisão, a universalidade e a sistematicidade.

## 2.3 A ESPECIFICIDADE DA ARQUITETURA E SEU PRINCIPAL INSTRUMENTO: O DESENHO ·

### 2.3.1. O desenho como representação

Além da grande dificuldade relacionada à sua fase de concepção, a arquitetura apresenta uma outra especificidade que decorre do seu objeto de trabalho. Segundo Duarte (2000) “[...] o objetivo do trabalho do arquiteto consiste em um objeto de difícil manuseio por causa de algumas características: sua grande escala, seu alto valor financeiro, o tempo exigido no desenvolvimento das alterações e o processo coletivo e dissociado de concepção e execução. Assim o arquiteto necessita criar dispositivos para operar com sua matéria. Recorre a objetos representativos dessa realidade, pois são mais fáceis de trabalhar, mais rápidos e baratos, auxiliando o processo de visualização, e assim, o de concepção”.

Echenique (1975, apud DUARTE, 2000) define modelo como “[...] uma representação da realidade, donde a representação se faz através da expressão de certas características relevantes da realidade observada, e donde a realidade consiste nos objetos ou sistemas que existem, tem existido ou possam vir a existir”.

Duarte (2000) enfatiza que na arquitetura, a utilização de modelos se mostra particularmente útil, uma vez que o produto final é de difícil manipulação e, grande parte das vezes, ainda não existe. Ao longo da história têm-se utilizado diferentes tipos de modelos em arquitetura, sendo que o desenho tem se configurado como o mais utilizado e o que tem demonstrado as mais versáteis aplicações nas variadas fases do projeto arquitetônico. Ainda segundo o autor, as razões disto são a grande capacidade deste tipo de modelo (o desenho) de ser facilmente compreendido e manipulado e a possibilidade de se armazenarem tentativas de soluções enquanto outras ficam esperando. Isto possibilita a divisão do projeto global em diversas partes, geometricamente compatíveis e mais facilmente trabalháveis, possibilitando ao arquiteto dar conta de projetos complexos.



Fig. 2: Perspectiva de Vriedman de Vries. Fonte: PORTER (1986)

reutilização destes materiais para outras tarefas, como a encadernação de livros. De fato, muitos desenhos arquitetônicos foram encontrados no verso de capas de livros medievais. Outra possibilidade para a pequena difusão destes métodos era o fato de serem considerados secretos, e como tal, mantidos em sigilo. Desenhos desta época existem, no entanto, como as plantas e elevações existentes no livro de esboços do arquiteto Villard de Honnecourt, conforme citado por Porter (1986).

Somente no Renascimento, entretanto, o desenho adquire sua importância fundamental na arquitetura. A invenção e sistematização da perspectiva feitas por Brunelleschi mudaram definitivamente o papel do arquiteto

Entretanto, embora a utilização de modelos bidimensionais do espaço, ou seja, os desenhos, tenham sido nos, últimos séculos, o método mais adotado para representações arquitetônicas, isto nem sempre foi uma regra. Construtores e arquitetos gregos construíam réplicas em madeiras, às vezes em escala real, de partes dos edifícios. As plantas como são conhecidas hoje não foram utilizadas na civilização ocidental até a redescoberta da geometria Euclidiana em 1100 DC. Até a Idade Média a utilização de desenhos ainda era muito restrita, sendo o arquiteto-mestre-de-obras o principal condutor na organização do espaço *in loco*. Alguns autores afirmam que a escassez de amostras de desenhos desta época se deve mais ao fato da

no processo de construção do espaço. Agora, dominando um processo de representação capaz de reproduzir com exatidão o que o "olho da mente" enxerga, o arquiteto se distanciou do canteiro de obras, abandonou sua conotação de artesão e passou a debruçar-se sobre o projeto. (Fig. 2) Como escreveu Ortega (1997):

A elaboração da perspectiva linear de fato, passou a envolver conhecimentos e noções bastante profundas de matemática, geometria, anatomia e óptica, tornando o arquiteto não mais um simples artesão, mas um cientista completo, como Leonardo, Michelangelo, Dürer e tantos outros. [...] Pode-se dizer que, neste sentido, a perspectiva não era só um modo de ver ou representar o espaço, mas uma construção intelectual, uma teoria. Era um método matemático onde o artista não se limitava a representar o espaço, mas o construía. Pode-se, portanto, sustentar que, a partir desse momento a utilização do desenho como processo de criação tornou-se fundamental. A invenção do novo modo de representar o espaço fez com que os arquitetos-artistas do Renascimento definissem o método e as técnicas de projetar para os próximos cinco séculos, sendo ainda hoje, a maneira pela qual os arquitetos projetam.

Em meados do século XIX o aperfeiçoamento de outro sistema de desenho veio enfatizar o mesmo como ferramenta de projeto principal. Inicialmente classificado como assunto altamente secreto pelo governo Francês, o desenvolvimento de um método capaz de mostrar graficamente, de forma padronizada e precisa, as relações entre as diversas vistas de um objeto complexo, tendo um profundo impacto nas técnicas de visualização. Este método criado pelo físico e engenheiro militar Gaspard Monge, mais tarde denominado Geometria Descritiva, tornou-se o instrumento oficial nos círculos da arquitetura e engenharia. De fato, a invenção veio impulsionar a então em curso revolução industrial, servindo à realização de novas invenções como a locomotiva a vapor e outras tantas máquinas surgidas na época. (PORTER, 1986)

Outro importante marco a acontecer na virada do século XIX foi a institucionalização da profissão do arquiteto e a formalização da educação em arquitetura. Este evento provocou uma crescente valorização das habilidades artísticas, fazendo com que o arquiteto passasse a se preocupar menos com as qualidades



Fig. 3: Croqui de Daniel Libeskind.  
Fonte: PORTER (1986)

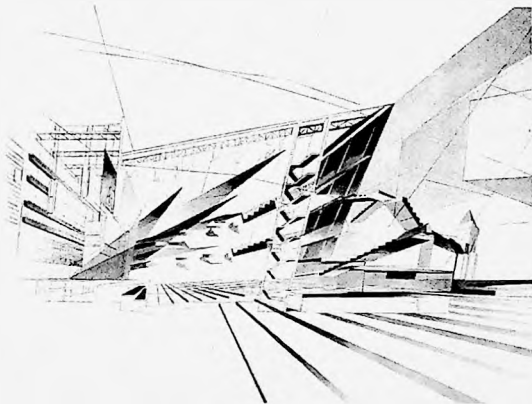


Fig. 4: Desenho de Zaha Hadid  
Fonte: PORTER (1986)

esculturais da forma e do espaço, dando mais importância aos aspectos pictóricos de fachada e silhueta. Além disso, a proliferação das mídias impressas possibilitou a difusão de idéias através de jornais, o que significou que por volta de 1900 o desenho se consolidou como o meio principal de comunicação do arquiteto.

Atualmente, o estilo de desenhar associa-se também à individualidade do arquiteto, através da sua assinatura pessoal que identifica o arquiteto e sua filosofia de projeto. Muitos arquitetos, como Peter Eisenman, se estabeleceram através de uma produção em papel bem antes de se envolverem com a construção. Zaha Hadid é outra arquiteta que até recentemente tem sido conhecida por projetos que ganharam expressão apenas no papel. (Fig. 3) Suas imagens empregam diferentes posições de pontos de fuga, cada um destes controlando zonas diferentes do desenho. Isto nos dá a sensação de ver um desenho em movimento, pois ora se está fluando no espaço, ora pode-se sentir viajar a uma grande velocidade. Segundo ela mesma: "*O movimento é o mais importante, o fluxo das coisas, uma geometria não-euclidiana onde nada se repete*". (PORTER, 1986) (tradução do autor)<sup>5</sup>

Daniel Libeskind também é responsável por uma linguagem de desenho inovadora, onde as convenções são abandonadas em favor de um código próprio onde símbolos e sinais espaciais necessitam ser decifrados. (Fig. 3) Seus desenhos transcendem a função rotineira da representação arquitetônica, exibindo uma geometria mutante que leva o observador uma dimensão quase poética do espaço, ao mesmo tempo em que o remete às origens do deconstrutivismo.

<sup>5</sup>The most important thing is motion, the flux of things, a non-Euclidean geometry in which nothing repeats itself.



Neste contexto, pode-se perceber claramente que o arquiteto tem gradualmente se afastado da manipulação direta do espaço, e cada vez mais investido nas interpretações gráficas das idéias. O artifício do desenho, tanto como um fator de enriquecimento como de limitação dos conceitos arquitetônicos, tem sido utilizado desde milhares de anos, mas, só recentemente, colocou-se no centro da formação dos arquitetos. Isto deposita uma carga de responsabilidade muito grande sobre os arquitetos mais jovens, uma vez que estes têm a chance de redefinir o papel que este instrumento adquiriu, extrapolando suas funções meramente representativas e atribuindo-lhe uma nova utilidade e importância, especialmente em conjunto com uma nova e infinita gama de possibilidades que as novas tecnologias proporcionam.

### **2.3.2. O desenho no processo de criação**

Entre as diversas fases do projeto arquitetônico, a etapa conceitual, onde são geradas as primeiras idéias e soluções, é, sem dúvida, a que ocorre de forma ainda não inteiramente clara e que suscita variadas teorias e discussões, conforme indicado anteriormente.

A pesquisa nesta área se torna particularmente importante, na medida em que se verifica *"[...] um crescimento paralelo dos níveis de complexidade das fases do projeto arquitetônico e do compromisso com as soluções técnico-constructivas adotadas, o que significa que, quanto mais avançado o desenvolvimento, maior o esforço despendido numa eventual mudança de parâmetros e soluções"*. (KIATAKE,2004). Um possível erro na fase de concepção pode, portanto, acarretar grandes prejuízos de tempo e de investimento financeiro em etapas posteriores.



Fig. 5: Ciclo do Pensamento Gráfico. Fonte: Adaptação de BORGES (2001)

Os estudos realizados nesta área têm assumido que o **desenho** pode agir como ferramenta fundamental na etapa conceitual do projeto. Os processos cognitivos envolvidos no ato de desenhar têm sido objeto de pesquisa há algumas décadas. Entender de que forma o arquiteto cria através do desenho é, portanto, uma etapa essencial para que se consiga implementar a funcionalidade desejada em ambientes computacionais dedicados ao projeto.

Com este intuito, grande parte das pesquisas desenvolvidas têm se utilizado da chamada *protocol analysis* (análise protocolar). Tal método consiste em um estudo empírico onde a atividade de resolução de problemas de projeto é analisada mediante a coleta de dados gráficos e verbais. Do e Gross (2001) relatam o estudo realizado por pesquisadores como Eastman, Akin, Suwa e Tversky, Goldschmidt, Schön e Goel utilizando a análise protocolar. Os autores constataram que os arquitetos utilizam símbolos gráficos e que estes elementos estão intimamente ligados a descrições verbais e processos mentais. As pesquisas também indicaram que os arquitetos utilizam uma espécie de gramática de símbolos e relações entre estes (sintaxe) no ato de desenhar e que estes símbolos representam diferentes tipos de informação.

Sempre que se defronta com um problema espacial a ser resolvido, o arquiteto inicia um processo de busca mental, onde são geradas as primeiras visualizações de soluções potenciais. Estes *insights* são geralmente percebidos como imagens em *flashes*, de formas e espaços adimensionais, que resultam de critérios puramente pessoais, tais quais intuição e gosto pessoal, e de uma análise mais depurada dos problemas determinantes, bem como do repertório de soluções técnicas e formais que domina. Segundo Ortega (1997):

O arquiteto comunica suas idéias através de desenhos. Todavia, antes de comunicá-las, é necessário criá-las. A criação deriva, inquestionavelmente, do repertório arquitetônico de seu criador, dos seus conhecimentos, da sua vivência e, principalmente, da sua percepção do mundo... Perceber o mundo, observar os espaços, suas formas, proporções, texturas, luz, cor, etc., permite ao arquiteto educar o olhar. Do olhar educado, através do ato de perceber, o arquiteto cria.

É possível que se criem e desenvolvam idéias somente de forma mental, mas tais idéias podem se tornar tão complexas e extensas que não podem mais ser contidas somente no espaço mental e precisam ser externadas. Torna-se necessária alguma forma de representação, de forma que a idéia possa ser compartilhada e avaliada, seja pelo próprio arquiteto, seja por outros membros de sua equipe. (Fig. 5)

Neste ponto o pensamento precisa ser traduzido em duas dimensões, através de croquis e diagramas conceituais, ou em três dimensões, através de modelos físicos descritivos. Esta nova experiência de sua própria idéia é a base dos próximos desenvolvimentos, inspirando a imaginação criativa a formar novas imagens mentais, que por sua vez irão modificar estas representações num processo de diálogo contínuo entre concepção e modo de expressão, até que o processo criativo se complete. A partir daí, o desenho deixa seu

papel como instrumento de criação, e assume uma importância maior na parte de documentação do projeto, sendo o instrumento principal de comunicação entre as diversas equipes envolvidas na execução do mesmo. O que eram, a princípio, croquis e rabiscos a mão livre passam a tomar formas mais definidas através do uso de



Fig. 6: Processo do Pensamento Gráfico. Fonte: LASEAU (1989)

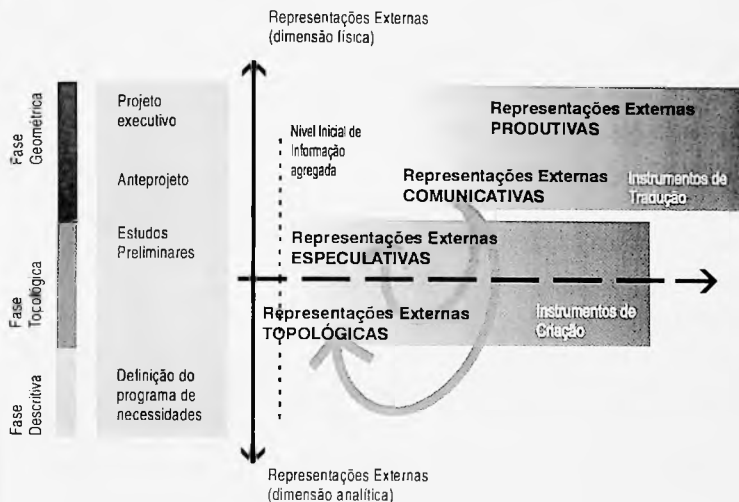


Fig. 7: Contextualização das formas de concepção e representação do projeto.  
 Fonte: Adaptação de BORGES (2001)

instrumentos, sejam manuais, sejam computadorizados.

Segundo Laseau (1989) este processo de pensamento gráfico pode ser visto como uma conversa interior na qual o esboço é o meio de comunicação principal. Este canal de comunicação envolve a imagem no papel, o olho, o cérebro e a mão. (Fig. 6) A emergência de novas idéias se dá através da recombinação de idéias existentes através de adição, subtração ou modificação e cada um dos quatro elementos citados pode influenciar neste processo. O potencial do pensamento gráfico reside no ciclo contínuo de informações entre papel e cérebro, passando pelo olho e pela mão, e, teoricamente, quanto mais vezes este ciclo acontecer, mais oportunidades de mudanças acontecerão. Segundo o autor, o processo de pensamento gráfico, enquanto

processo externalizado, oferece muitas vantagens em relação a um processo puramente interno: o direto envolvimento sensorial com a matéria fornece mais subsídios para o pensamento; a manipulação de uma estrutura física permite o acidente fortuito, a descoberta inesperada; a materialização do pensamento fornece um objeto para contemplação crítica e um meio de comunicação eficiente com terceiros. O autor ainda enfatiza a simultaneidade como outra vantagem deste processo, uma vez que o esboço permite ao arquiteto visualizar uma vasta gama de informações ao mesmo tempo, expondo relações a princípio implícitas e revelando sutilezas despercebidas.

Borges (2001) ocupou-se em realizar um quadro de referência da linguagem gráfica e uma proposta de nomenclatura dos diversos tipos de representação. O autor apresenta um gráfico que demonstra a estrutura básica a partir da qual podem ser contextualizados os diversos aspectos relacionados às formas de concepção, representação e comunicação, presentes no processo de projeto, além da estrutura de sua progressão e as tarefas de projeto. (Fig. 7) O autor explica que neste gráfico, a direção horizontal representa a progressão do projeto no tempo e o nível de informação e definição agregada às representações externas, observando-se que a busca de soluções para a definição das características de um artefato quase sempre se inicia a partir de uma determinada quantidade de informação inicial. A direção vertical incorpora as etapas da progressão do projeto, a fase descritiva, topológica e geométrica, e o tipo de representação externa, desde a dimensão analítica e intangível, até a dimensão física de caráter mais tangível.

A proposta de nomenclatura do autor é apresentada a seguir:

**Representações externas TOPOLÓGICAS** - Referem-se a todas as formas diagramáticas de representação utilizadas por projetistas como forma de criação, análise, estruturação do problema, construção de bases de conhecimento acerca da proposta, entre outros aspectos. Essas formas de representação se caracterizam pela utilização de diagramas de diversos tipos, que podem incorporar, ou não, a forma geométrica embrionária do objeto em estudo.

**Representações externas ESPECULATIVAS** - Apresentam-se como instrumentos fundamentais para a geração de alternativas ao problema proposto, atuando de forma semelhante às representações externas topológicas. Entretanto observa-se, nesses tipos de representação, a incorporação das características geométricas e formais acerca do artefato sendo projetado. Observa-se, também, que, freqüentemente, as



Fig. 8: Símbolos utilizados nos diagramas arquitetônicos. FONTE: GROSS; DO (2001)

formas geométricas subjacentes presentes nos diagramas são recuperadas pelas representações especulativas.

**Representações externas COMUNICATIVAS** - Podem ser consideradas como a consolidação dos princípios de solução para o problema proposto. Seus objetivos se configuram como a tradução e a comunicação desses princípios de solução para um

público-alvo abrangente. Pode-se, também, considerar duas dimensões para esse tipo de representação relacionado a essa comunicação de informações. A primeira estabelece a comunicação em um nível interno, dentro de uma equipe de projeto ou entre equipes interdisciplinares de projeto. A segunda se presta à comunicação entre as equipes de projeto e um público-alvo não especializado, representado pelos clientes e público em geral, caracterizando-se como um tipo de comunicação externa.

**Representações externas PRODUTIVAS** - São geralmente traduzidas pela descrição completa do artefato ou edificação, elaboradas de acordo com padrões e normas técnicas predefinidas, objetivando, fundamentalmente, a viabilização da produção ou construção do objeto idealizado.

Borges (2001) engloba os dois primeiros tipos – topológicos e especulativos - como instrumentos de concepção do objeto arquitetônico e os outros dois – comunicativos e produtivos – como instrumentos para a tradução de soluções geradas pelos tipos anteriores.

Dentre as diversas modalidades gráficas envolvidas no processo projetual, duas se mostram especialmente adequadas à geração e descoberta de idéias: **Os Diagramas e o Croqui**. “Os arquitetos utilizam o croqui e os

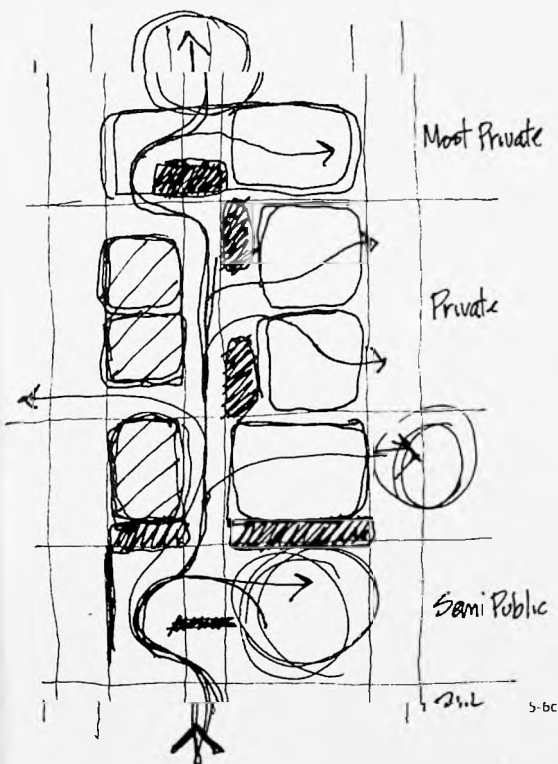


Fig. 9: Convenções gráficas utilizadas em diagramas.  
Fonte: DO (2002)

diagramas no seu processo de projeto a fim de realizar arranjos formais e funcionais, analogias, mapeamento de estruturas e adquirir conhecimento.” (DO, 2002) (tradução do autor)<sup>6</sup>

### 2.3.2.1. Os Diagramas

Segundo Ortega (1997), “[...] as diferentes modalidades gráficas de desenho avançam conforme o andamento do projeto. Pode-se dizer, em outras palavras, que estes desenhos vão do abstrato ao menos abstrato conforme avança o processo projetual.”

O momento em que as primeiras idéias são transferidas da mente do arquiteto para uma forma externa de representação é um ponto crítico no processo de criação do conceito do projeto. Com a finalidade de dar vida à idéia, o arquiteto precisa tirar partido de imagens em sua mente. Este processo de abstração geralmente envolve o uso de símbolos descritivos, ideogramas, imagens e palavras que se combinam para conectar as relações potenciais entre conceito e realidade. Os diagramas conceituais aparecem muito úteis nesta etapa, pois seu caráter conciso se adapta bem melhor à essência das idéias do que à predição de formas. Segundo Gross e Do (2001), os diagramas conceituais em arquitetura são desenhos que utilizam elementos geométricos para representar de forma abstrata fenômenos tais quais o som, luz, calor, vento e chuva; elementos construtivos como paredes, janelas, portas e

<sup>6</sup> “Architects use sketching and diagramming in their design process to perform functional reasoning, formal arrangements, analogy transfer, structure mapping, and knowledge acquisition.”

mobiliário; e características da percepção e comportamento humano como pontos de vista, privacidade e movimento. Estes desenhos representam não apenas elementos físicos, mas também vetores de forças e fluxos (como por exemplo, a direção dos ventos, radiação solar e fluxo de pessoas e materiais). (Figs. 8 e 9) Os autores mencionam a diferença entre os diagramas utilizados em arquitetura e os diagramas utilizados em outras disciplinas. Em arquitetura, os símbolos e relações utilizados correspondem a elementos físicos e relações espaciais do problema arquitetônico, e como tal suas configurações de forma e tamanho derivam diretamente destes elementos. Desta forma, os desenhos em arquitetura utilizam uma vasta gama de propriedades, tais quais topologia, tamanho, posição e direção, enquanto em outras áreas se utilizam apenas uma ou duas destas características. Os autores citam os diagramas de circuitos eletrônicos como exemplo, onde apenas a forma e topologia são importantes, uma vez que o tamanho, posição e direção dos símbolos são irrelevantes.

Do (2002) conduziu sua própria pesquisa de análise protocolar através do estudo de diagramas realizados por estudantes de arquitetura e profissionais. Estes estudos revelaram que os arquitetos realmente utilizam símbolos para representar objetos físicos envolvidos na resolução do problema. Quando preocupados em resolver arranjos espaciais, os arquitetos desenham primitivas geométricas (círculos e quadrados) para representar diferentes espaços funcionais, acompanhados de uma descrição textual. Quando pensam em objetos (mesas, cadeiras, portas) os arquitetos desenham símbolos representando este mobiliário. Quando pensam sobre questões de iluminação, por exemplo, desenham uma seta, representando um raio de luz numa vista seccionada. Constatou-se, portanto, a existência de uma sintaxe baseada nestes elementos e na relação entre eles, consistindo de:



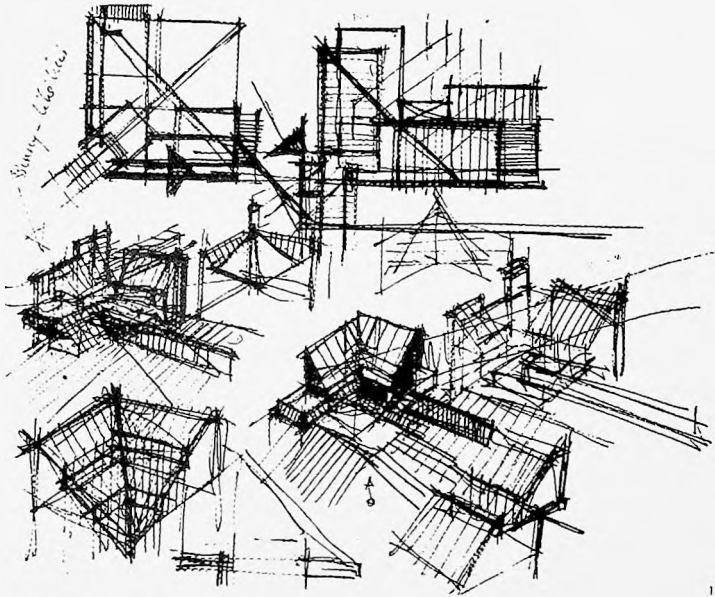


Fig. 10: Tradições de diagramas bidimensionais em vistas espaciais.  
Fonte: DO (2002)

- Formas geométricas básicas, ou primitivas gráficas – indicam área e hierarquia de espaços (círculos, ovais, quadrados e retângulos)
- Convenções gráficas para objetos (mobiliário, elementos construtivos)
- Contexto e intenções projetuais relativas à direção, movimento e fluxo – de ponto de vista, pessoas, luz, etc ( indicados usualmente por setas)
- Relações espaciais entre ambientes e objetos (indicadas por distância/proximidade e referências espaciais entre os elementos)

Além da existência desta sintaxe gráfica, outras características interessantes do processo de desenho foram constatadas. A primeira diz respeito ao hábito de reforçar e redefinir partes do desenho através de linhas traçadas umas sobre as outras. Isto pode ser feito diretamente sobre o próprio desenho ou utilizando uma nova camada semitransparente. Do (2002) afirma que esta ação serve a diferentes propósitos, tais quais concentrar a atenção em determinado elemento ou adicionar detalhes e melhor definição a uma determinada forma. Uma segunda característica foi revelada através do registro em vídeo dos arquitetos em atividade. Quando solicitado a realizar tarefas repetitivas, como arranjos espaciais de mobiliário, por exemplo, o arquiteto realiza estas tarefas de maneira contínua e em seqüência. A terceira constatação revelou

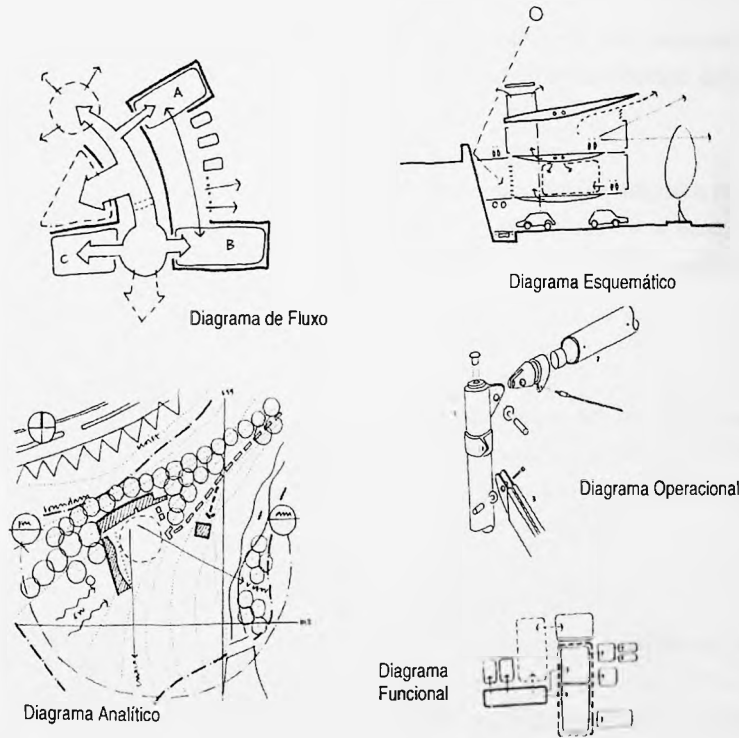


Fig. 11: Exemplos de diagramas conceituais. Fonte: PORTER (1986)

que quando a resolução do problema de projeto envolve cálculos de áreas e medidas, o arquiteto não apenas desenha símbolos e primitivas<sup>7</sup>, mas inclui no desenho linhas de cota e dimensões a fim de checar se a proposta satisfaz os condicionantes de espaço. Por fim, também ficou claro que estes desenhos diagramáticos são freqüentemente transplantados rapidamente para vistas isométricas ou em perspectiva, como a primeira tentativa do arquiteto em visualizar em três dimensões a proposta espacial sugerida. (Fig. 10)

Porter (1986) apresenta uma classificação dos diferentes diagramas conceituais que são empregados no processo projetual: (Fig. 11)

### Diagramas Sintéticos ou Esquemáticos

São desenhos simplificados de um conceito que evidenciam as relações entre seus componentes físicos. Auxiliam o designer a articular os espaços em resposta a forças específicas, como direção do vento e movimento do

<sup>7</sup> Primitivas são formas geométricas básicas, em duas ou três dimensões.

sol. Estes tipos de desenho são geralmente compostos de desenhos esquemáticos complementados com símbolos gráficos, como setas e balões, que realçam e traduzem a intenção do autor.

### **Diagramas Operacionais**

São exemplos de outro tipo de diagrama conceitual que ajudam o arquiteto a visualizar mudanças através do tempo. Estes começam a explicar a mecânica de um conceito e como seus elementos são manipulados e transformados. Incluem perspectivas explodidas e o uso de desenhos em raios-X.

### **Diagramas Funcionais**

Identificam a proximidade entre e o tamanho relativo de zonas de atividade. Dividem o espaço em manchas ou zonas que mais tarde tomarão forma mais definida, quando serão dimensionadas e inseridas aberturas, sendo o resultado alçado verticalmente, tomando forma as primeiras volumetrias.

### **Diagramas de Fluxo**

São similares aos diagramas operacionais, na medida que podem identificar mudanças ao longo do tempo. Eles são geralmente utilizados para estudar direção, intensidade, conflitos, problemas e possibilidades que surgem quando os movimentos entre um ponto e outro são considerados, como, por exemplo, movimento de pedestres, transporte e informação.

### Diagramas Analíticos

São úteis ao identificar e relacionar visualmente limitações de projeto. Eles salientam a natureza das condições existentes, como as condições do terreno para um edifício, e avaliam o impacto do projeto completo em contraste com as intenções originais.

Segundo Ortega (1997):

[...] deve-se enfatizar que tais gráficos, denominados de zoneamento, organograma e fluxograma, representam desenhos analíticos e são fundamentais por dois aspectos: primeiro por parte do próprio arquiteto, para determinar claramente as metas dos clientes e, segundo, para analisar, através desses gráficos, os critérios que levaram o arquiteto à solução formal. Em outras palavras, é possível através desses gráficos, entender o discurso arquitetônico do seu autor e sua postura frente aos problemas da organização espacial.

#### 2.3.2.2. O Croqui

Gross & Do (1997) salientam a diferença existente entre os diagramas conceituais e outro tipo de desenho utilizado na fase conceitual do projeto, o Croqui. Um diagrama é formado por símbolos e comunica conceitos. É utilizado para explorar, explicar, demonstrar ou tornar claras as relações entre as partes de um todo, ou ainda ilustrar como algo funciona (uma seqüência de eventos, movimento ou processo). Os símbolos utilizados nos diagramas podem representar objetos ou conceitos. Como exemplo, uma seta indica a direção e magnitude de um movimento, enquanto uma linha pode indicar o piso de uma determinada área. Um diagrama omite a escala detalhada e representações realísticas.

O Croqui, por sua vez, comunica espaço e forma. O traço sobreposto e repetitivo objetiva transmitir estes elementos de forma intencionalmente mais precisa através de modificadores gráficos como hachuras e sombreados, em contraste com as formas abstratas de um diagrama. Um esboço em perspectiva transmite

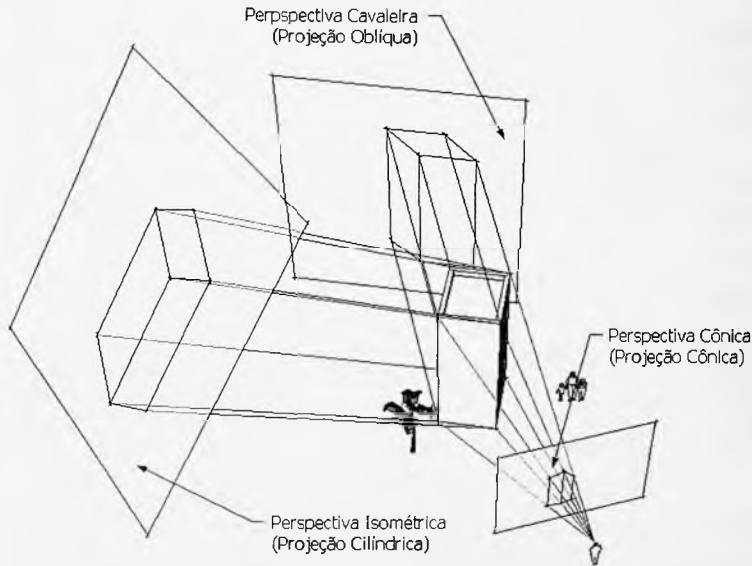


Fig. 12: Tipos de Projeção utilizados nos diferentes tipos de perspectiva. Ilustração do autor.

informação tridimensional sobre a cena, especificando a forma dos elementos físicos e sua aparência a partir de um determinado ponto de vista.

Realizar os diagramas anteriormente citados exige pouca habilidade manual e prescinde até mesmo do conhecimento de normas e técnicas de desenho, uma vez que tais gráficos estão mais intimamente ligados ao campo das idéias e da lógica do que propriamente da forma. Na execução do croqui, para que o processo de criação e de comunicação de idéias flua satisfatoriamente, começa a se fazer necessário um certo domínio da técnica de desenho.

A dificuldade em se representar realidades espaciais através do desenho, reside no fato de se estar utilizando uma superfície – a folha de papel – que somente fornece duas dimensões. Desta forma, passa a ser necessário o uso de certos códigos e convenções que possibilitam a representação de elementos tridimensionais com esta limitação. Deve o arquiteto, portanto, entender e dominar o processo chamado **projeção**, pelo qual pontos de um objeto real no espaço correspondem a pontos de sua imagem no papel. Uma operação projetiva realiza-se transladando pontos que seguem a trajetória de um raio, que denominamos raio de projeção, até que no seu percurso o raio intercepte um plano que se denomina plano de projeção. Denomina-se centro de projeção o

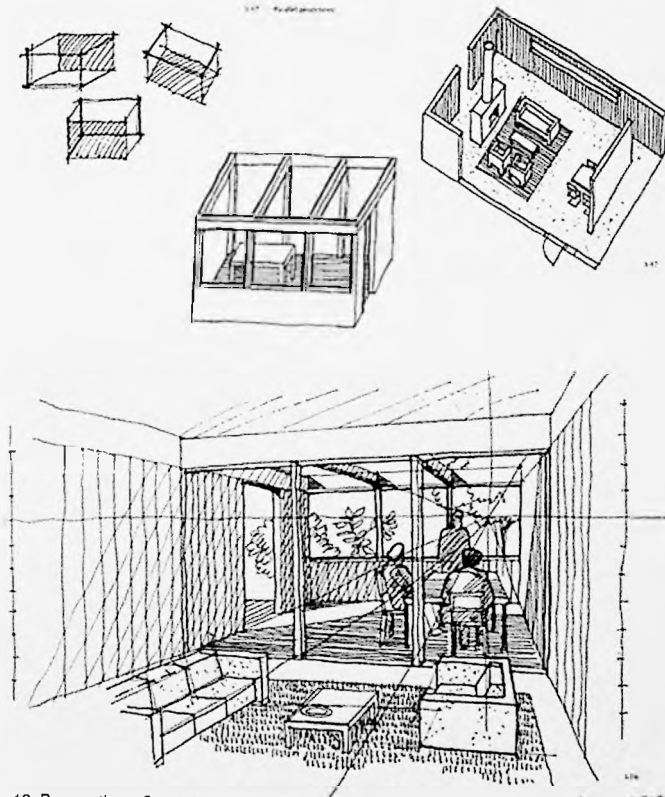


Fig. 13: Perspectivas Cavaleira e Axonométrica (topo) e Cônica. Fonte: Laseau (1989).

centro inicial dos raios de projeção. As diferentes formas de posicionar os três elementos – plano, raio e centro – darão como resultado os três diferentes tipos de projeção a saber (Figs. 12 e 13):

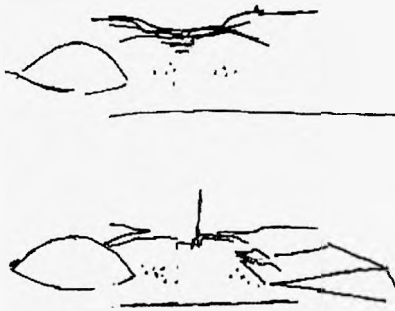
- **Projeção cilíndrica ortogonal:** Projeção onde os raios de projeção são paralelos entre si e atingem o plano de projeção em um ângulo de noventa graus. Neste caso o centro de projeção se encontra no infinito (ponto impróprio). Este tipo de projeção é a base da geometria descritiva, e é o mais utilizado na documentação bidimensional do projeto, uma vez que as linhas e superfícies paralelas ao plano de projeção são projetados em verdadeira grandeza, sendo aplicado em plantas, elevações e cortes e ainda nas perspectivas axométricas.
- **Projeção cilíndrica oblíqua:** Projeção onde os raios de projeção também são paralelos entre si, mas atingem o plano de projeção em um ângulo diferente de noventa graus. O centro de projeção também se encontra no infinito. Este tipo de projeção encontra aplicação no desenho de perspectivas oblíquas (ou cavaleira) e no estudo de sombras projetadas.
- **Projeção cônica:** Neste tipo de projeção os raios de projeção convergem para um ponto próprio, cada um atingindo o plano de

projeção em um ângulo diferente. A imagem projetada tem sempre dimensões diferentes do objeto real. É o tipo de projeção pelo qual o olho humano enxerga o mundo e pelo qual lentes fotográficas registram as imagens. É aplicada no desenho das perspectivas cônicas.

Para um leigo, a forma mais fácil de entender uma imagem em projeção acontece ao observar uma fotografia, ou um desenho em perspectiva cônica, pois em ambos os casos, as imagens projetadas correspondem de forma bastante próxima à visão monocular de um único olho, ou seja, em projeção cônica. Outros desenhos que utilizam projeções ortogonais, como plantas e vistas exigem um maior treinamento do observador de forma que este possa compreender os códigos utilizados e compreender o que está sendo representado.

A execução destes desenhos, no entanto, é o que vai demandar ainda mais habilidade e treinamento do que sua simples leitura. A educação gráfica do arquiteto tem utilizado o desenho de observação como instrumento inicial e principal no adestramento visual e manual dos futuros profissionais. Ao entender e dominar este processo, seja inicialmente à mão livre, seja posteriormente com o auxílio de instrumentos, o arquiteto estará apto a esboçar rapidamente o que vê apenas com o olho da mente, e quanto mais instantâneo e significativo for este esboço, mais subsídios ele trará para novas especulações sobre sua forma e conteúdo. Esta ligação direta entre cérebro e mão bem treinada e habilidosa tem se mostrado o instrumento mais valioso e eficiente para a rápida representação de idéias, o que torna o croqui, junto com os diagramas conceituais, os elementos de criação arquitetônica por excelência.

Ortega (1997) identifica no processo de projeto três etapas principais:



[...] o croqui, que representa os conceitos gerais do projeto, onde o arquiteto confirma suas intenções plásticas; pelos desenhos de apresentação, para a definição do projeto, apoiada pela aprovação e participação do cliente; e pelos desenhos executivos – acrescidos de detalhamentos, para a construção da obra. [...]o croqui é, dos três estágios de produção, o mais relevante, pois é desenvolvido pelo próprio arquiteto e revela uma idéia muito precisa da impressão geral que se quer dar à obra. Ao evocar certos detalhes e omitir outros, percebe-se nesses desenhos as intenções do arquiteto; identificam-se os elementos gênese da criação.

Lapuerta (apud ORTEGA, 1997) sustenta que o uso extensivo do desenho, no Renascimento, fez surgir o exercício do croqui como método-projetual, e aponta que tal fato aconteceu porque: em primeiro lugar, não estando mais o arquiteto na construção direta da obra, tornou-se necessário a confecção de um documento teórico para se comunicar, já que o sistema de trabalho mudou, e também seu *status* social. Segundo, porque o croqui torna-se um documento para provar idéias, dar autenticidade. E em terceiro, porque o arquiteto necessitava, com o novo *status*, de uma linguagem que o identificasse, como a escrita do poeta ou os números ao matemático.

Figura 14: Parque do Ibirapuera-SP. Croqui de Oscar Niemeyer.

De fato, o croqui se tornou marca registrada de muitos arquitetos, sendo impossível dissociar sua imagem da obra a que correspondem. Variando na conformação do traço, na aparência, que pode lembrar desenhos infantis, como no caso de Lina Bo Bardi, ser rebuscado, ou extremamente sintético e econômico, como os exemplares de Niemeyer. (Fig. 14)



### 3. ARQUITETURA E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO

Seria difícil realizar esta pesquisa sem tecer algumas considerações mais amplas sobre a influência que a revolução tecnológica iniciada no último século, em especial a dos computadores, tem exercido sobre nossa sociedade, e em particular sobre a atividade do arquiteto. De fato, tal qual as revoluções agrícola e industrial, esta nova revolução provoca profundas modificações nos modos de produção, faz surgir novos valores e conceitos e introduz novos paradigmas. Assiste-se, na verdade, o surgimento de uma nova ordem social, da qual todos somos ao mesmo tempo agentes e pacientes, razão talvez pela qual torna-se difícil obter uma visão completa deste processo.

Os reflexos desta revolução que se apresenta provoca mudanças significativas na sociedade com reflexos sensíveis na apropriação e intervenção no território e no ambiente construído, exigindo mudanças também no enfrentamento desta novas relações, por parte dos profissionais desta área do conhecimento. Neste sentido destacam-se três aspectos importantes a serem explorados: a sociedade da informação e suas novas demandas em termos de espaço físico decorrente das mudanças tecnológicas de hábitos e costumes, adquiridos a partir de então, que não será objeto de estudo do presente trabalho, mas que sua introdução ao assunto coloca-se como fundamental; a arquitetura digital, decorrente das novas possibilidades ofertadas pelas novas tecnologias informacionais cuja menção é de extrema importância para a compreensão do terceiro aspecto; o projeto arquitetônico mediado por computador, este sim objeto central da presente dissertação.

### 3.1 A SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO

Esta nova ordem, freqüentemente denominada de era da informação, é o palco da emergente sociedade que leva o mesmo nome. Estudiosos como Negroponte, Castells e Mitchell têm se dedicado a tecer teorias sobre os processos em curso. Estas visões são importantes, na medida em que fornecem um caminho a partir do qual se pode compreender melhor o presente e oferecem pelo menos uma pálida noção do que o futuro possa ser.

Negroponte (1995) levanta a questão realizando uma comparação entre o mundo físico dos átomos e o mundo virtual dos bits. Fala do ganho dos bits, que não tem forma, não tem peso e podem circular sem taxas alfandegárias. Na verdade, sua teoria é que na Vida Digital estar-se-á lidando cada vez mais com bits e menos com átomos, o que significa que os átomos deixarão de ter formas pré-concebidas. Terão o jeito e os trejeitos de quem estiver com eles lidando. Talvez nem cheguem a virar átomos. "[...] *um bit não tem cor, tamanho ou peso e é capaz de viajar à velocidade da luz. Ele é o menor elemento atômico no DNA da informação. É um estado: ligado ou desligado, verdadeiro ou falso, para cima ou para baixo, dentro ou fora, preto ou branco*". (NEGROPONTE, 1995)

Duas conseqüências do fato de os bits superarem os átomos. "*Em primeiro lugar, os bits misturam-se sem qualquer esforço. Começam a mesclar-se e podem ser utilizados e reutilizados em seu conjunto separadamente. Em segundo lugar, nasce um novo tipo de bit – um bit que nos conta sobre os outros bits*". (NEGROPONTE, 1995) Esses novos bits são cabeçalhos e podem constituir-se num índice ou numa descrição dos dados que os sucedem. Isso recai, por exemplo, no fim da televisão no molde em que ela existe hoje. Deixará de existir uma imposição tão grande dos que produzem as mensagens sobre os que as

recebem. A seleção será direta, feita em mão dupla, tanto pelos veículos de informação como pelos filtros internos que estarão nas máquinas futuras.

Essa característica vem responder diretamente à velocidade tão pregada na modernidade. A intenção primeira é suprir a individualidade e fazer com que cada um perca o menor tempo possível tendo de selecionar o que quer ler, assistir e ouvir. Por isso a importância dos bits que falam sobre bits. Serão eles que exercerão o papel de seleção. Por eles será mais fácil determinar o perfil de programas e de informações. Na verdade, o futuro, segundo Negroponte, trará à tona um veículo com as características sensoriais da televisão e com a praticidade e a profundidade de um jornal. Cada vez mais individual, cada vez mais adequado ao perfil do usuário.

Ainda segundo Negroponte (1995), a sociedade está passando para a era da pós-informação. A era industrial, fundamentalmente uma era de átomos, forneceu o conceito de produção em massa, conhecida como produção fordista, e, com ele, economias que empregam operários uniformizados e métodos repetitivos na fabricação de um produto num determinado espaço ou tempo. A era da informação e dos computadores mostrou as mesmas economias de escala, porém menos preocupada com o espaço e o tempo, e mais preocupada com a segmentação do mercado e da produção, ficando conhecida como produção flexível (pós-fordista). A confecção de bits pôde se dar em qualquer lugar e a qualquer tempo, e o território deixou de ser o fator limitante. Ainda na era da informação, os meios de comunicação tornaram-se simultaneamente maiores e menores. Novas formas de transmissão televisiva atingiram públicos maiores, ao passo que revistas especializadas, videocassetes e serviços por cabo deram exemplos de mercados segmentados (*narrowcasting*), atendendo a grupos demográficos pequenos.

Na era da pós-informação, o público que se tem é, com freqüência, composto de uma única pessoa. Tudo é feito por encomenda, e a informação é extremamente personalizada. Sendo digital, eu sou eu mesmo, e não um subconjunto estatístico. Ser eu mesmo é algo que pressupõe informações e acontecimentos desprovidos de qualquer significado demográfico ou estatístico.

A verdadeira personalização é tarefa da sociedade. A era da pós-informação tem a ver com conhecimento paulatino: máquinas entendendo indivíduos com o mesmo grau de sutileza que se espera de outros seres humanos.

Sobre o surgimento de comunidades virtuais, Negroponte (1995) afirma que "[...] *A comunidade de usuários da internet vai ocupar o centro da vida cotidiana. Sua demografia vai ficar cada vez mais parecida com a do próprio mundo. O valor real de uma rede tem menos a ver com informação do que com vida comunitária. A superestrada da informação é mais do que um atalho para o acervo da Biblioteca do Congresso. Ela está criando um tecido social inteiramente novo e global*".

Desta forma, o computador vai ser, cada vez mais, um instrumento mais amistoso e mais comum, de geração em geração. Aos poucos, vai ser difícil encontrar os que discutam ou tenham relação de estranhamento com as máquinas. Cada vez mais farão parte de nosso dia-a-dia, de nosso cotidiano. E, romanticamente, as crianças estarão cada vez mais versadas em produção visual, em matemática para a redação de pequenos programas e na utilização da leitura e da audição como formas determinantes para resolver problemas de comunicação.

O processo de transformação de átomos em bits deve atingir também a produção de energia. Como as miniaturas estão ganhando cada vez mais espaço, novas formas de geração de energia, adaptáveis a essas situações, serão forçadas a acompanhar as exigências. Não faz mais sentido sair por aí carregando aparelhos leves e baterias pesadas, enormes e de ação limitada, como já ocorre no mercado de telefones celulares.

As relações de trabalho também estão, aos poucos, se alterando. A fronteira entre trabalho e brincadeira tende a tornar-se cada vez mais tênue, pois a mídia utilizada será basicamente a mesma.

Vê-se, portanto, que a noção de espaço pode sofrer uma mudança radical, e com ela o próprio planejamento dos edifícios. Coexistirão atividades físicas e virtuais e o futuro arquiteto deverá ser capaz de prover espaço para ambas. Gerhard Schmitt (2001) afirma na introdução de seu livro *Bits and Spaces* que a arquitetura do futuro irá inevitavelmente recair em três categorias: Física, Virtual e Híbrida (o que ele chamou de *Bits and Bricks* – bits e tijolos). O autor acredita que a arquitetura puramente física se tornará rara:

[...]A Arquitetura Virtual será uma alternativa, em muitos aspectos, à excessiva produção de arquitetura física. Esta porá um fim à expansão não sustentável da área ocupada por pessoa, que mais que dobrou nos países industrializados desde os meados do século passado. Com ambientes de realidade virtual aperfeiçoados e computadores, cuja performance terão que aumentar num fator de mil vezes, entornos virtuais realísticos serão ambiente natural de trabalho para a maioria das pessoas na sociedade da Informação. (tradução do autor)<sup>8</sup>

<sup>8</sup> "Virtual architecture will be an alternative in many respects to the excessive production of physical architecture. It will put an end to the non-sustainable expansion of area used per person, which has more than doubled in industrialized countries since the middle of the last century. With improved virtual reality environments and computers, whose performance needs to increase by a factor of one thousand, realistic virtual surroundings will be the natural working environments for most people in information societies."

No entanto, segundo Schmitt, a Arquitetura Híbrida irá predominar - a maioria dos edifícios terá milhares de sensores, processadores e softwares integrados em sua estrutura. Seu objetivo será otimizar o uso dos recursos e o conforto do ambiente através de comportamento ativo e reativo.

Torna-se evidente que as ferramentas CAD, os trabalhos colaborativos em rede, e a habilidade de projetar os aspectos físicos e virtuais de nosso ambiente serão necessários para a existência do futuro arquiteto.

Mitchell (1995) também se ocupou em tecer interessantes teorias sobre o que ele chamou de Cidade dos Bits. Numa nova economia batizada de Economia de Presença, a grande parte das comunicações/transações entre as pessoas será realizada por meio digital (telepresença), de forma síncrona ou assíncrona. Isto implicará em grandes mudanças na disposição dos espaços e em redução de custos com transportes, afetando por sua vez a configuração das cidades. Como exemplo cita o caso das agências bancárias, onde de uma situação anterior onde quase todas as transações eram conduzidas face-a-face, tem-se hoje os serviços bancários distribuídos numa rede de caixas eletrônicos e bancos virtuais por Internet, dispensando quase que totalmente a presença física do cliente nas agências e redefinindo a tipologia dos espaços destas instituições, bem como o seu impacto no tráfego de veículos do seu entorno. Tal revolução está também em via de acontecer em outros setores, tais quais a venda a varejo, educação, tratamento médico, entre outros.

Mitchell (1995) afirma, no entanto, que sempre será dada a oportunidade de escolher entre estas diferentes possibilidades de comunicação e que não se deve esperar que todos haverão de viver em quartos escuros, digitando mensagens de e-mail. Desta forma, se as pessoas tiverem a chance de escolher, elas deverão fazer escolhas racionais entre as alternativas disponíveis de acordo com a adequação às suas

necessidades. Isto resultará numa distribuição variável de atividades em diferentes momentos históricos e em diferentes contextos geográficos e culturais.

Como conclusão Mitchell escreve que a revolução digital , tal qual as revoluções agrícola e industrial, abre novas possibilidades para a organização e forma urbana , criando uma pressão poderosa por mudanças. Sob estas novas condições emergentes, conceitos e métodos estabelecidos de análise urbana e de design talvez não se mostrem mais adequados. Torna-se necessário considerar o papel de lugares virtuais assim como lugares físicos, conexões eletrônicas assim como vias de transporte, e de transações assíncronas em adição aos encontros síncronos.

Considerado o filósofo da Sociedade da Informação, Castells(1996,1997,1998) também elabora instigantes observações sobre a revolução tecnológica. Em sua trilogia o autor traça os efeitos de três processos independentes que surgiram entre o final da década de 60 e meados da década de 70, e que resultaram na emergência de uma nova sociedade. São estes: A revolução da tecnologia da informação, a crise econômica do capitalismo e do comunismo e o surgimento de novos movimentos sociais como as ONG's ecológicas e feministas. De acordo com Castells (1996) a revolução da TI (Tecnologia da Informação) é parte responsável pelo colapso da União Soviética, junto com outros países comunistas, e pelo surgimento de um capitalismo mais eficiente e flexível. O afloramento de novos movimentos sociais seria uma resposta para a crise da democracia e das instituições tradicionais da sociedade civil em muitas partes do mundo. Juntos estes três processos estão causando uma nova estrutura social (a chamada sociedade em rede), uma nova economia (economia informacional global) e uma nova cultura ( a cultura da realidade virtual ). Processos e funções dominantes na era da Informação estão cada vez mais sendo organizados por meio de redes. As redes constituem a nova morfologia social de nossas sociedades e a difusão desta lógica

modifica substancialmente as operações e o resultado dos processos de produção, poder e cultura. Apesar desta forma de organização em redes ter existido em outros tempos e espaços, a nova tecnologia cria as bases para sua expansão através de toda a estrutura da sociedade.

O poder não está mais, portanto, concentrado em instituições (Estado), organizações (Empresas Capitalistas) ou controladores simbólicos (Mídia, Igreja). O poder está difundindo numa rede global de riquezas, poder, informação e imagens, que circulam e se transmitem num sistema de geometria variável e de geografia desmaterializada. Dentro desta perspectiva, conflitos e paradigmas emergem, sendo que Castells(1997) os enumera em três principais eixos:

O primeiro é a oposição entre "o Eu" e "a Rede" (*the Self and the Net*). Ele nota uma ruptura entre o instrumentalismo universal e abstrato da nova lógica da sociedade em rede e o histórico concretismo baseado em identidades particulares.

O segundo é sobre a discrepância e a dicotomia causadas por esta ruptura. As características das novas mídias de serem capazes de transcender tempo e espaço levam a diferentes classes sociais e movimentos viverem em diferentes tempos e espaços. Capital e trabalho, Instituições globais e movimentos sociais particulares vivem em diferentes "temporalidades". Os primeiros no tempo instantâneo dos computadores, e os segundos no tempo convencional do cotidiano. Cada vez mais também vivem em espaços diferentes: os primeiros no ciberespaço e nos transitórios *jet sets* da elite da informação. Os segundos nas convencionais localidades do campo e da cidade.



O terceiro relata a tese de que estas dicotomias provocam a inclusão e exclusão de pessoas, comunidades, economias e países, conduzindo ao surgimento de abismos sociais e informacionais em todo o mundo. Esta é uma característica implícita da rede: ela conecta e desconecta. Castells (1998) analisa o colapso da União Soviética como resultado de sua incapacidade de se adequar a era da informação e da sociedade em rede, justificando da mesma forma a ascensão de economias no Pacífico, que se mostraram mais preparadas para tal. Descreve ainda a exclusão do "Quarto Mundo", larga partes da África, Ásia e América do Sul. Tais locais se tornaram completamente irrelevantes para a economia global, contribuindo apenas para a "economia do crime" do tráfico de drogas, contrabando, armas ilegais e prostituição, sendo que esta economia do crime é uma usuária contumaz da tecnologia da informação, fazendo, portanto, uma perversa conexão à rede. Por fim, uma nova cultura é formada nesta nova sociedade: a cultura da "virtualidade real". Nesta nova realidade um dos conceitos mais importantes é o conceito de espaço de fluxos transcendendo o espaço de lugares, numa alusão semelhante a já realizada por Negroponte quanto ao mundo dos bits e mundo dos átomos.

### 3.2 ARQUITETURA DIGITAL

De fato a feição e forma de execução de alguns espaços já vêm apresentando mudanças. Novos termos referentes a novos tipos de concepção arquitetônica foram cunhados, de acordo com os recursos utilizados, tais quais arquitetura isomórfica, arquitetura dinâmica, arquitetura paramétrica e arquitetura evolucionária. Estas novas possibilidades extrapolam o repertório baseado em formas euclidianas e planos cartesianos, passando a empregar a geometria de curvas e superfícies descritas matematicamente como as chamadas NURBs, que tornam as formas mais complexas possíveis de serem executadas por meios de máquinas CNC (*computer numerically controlled*) que extraem digitalmente cada peça da edificação a partir de seu projeto em computador.



Figura 15: O museu Guggenheim de Bilbao, de Frank Gehry, que utilizou avançados recursos de computação em seu projeto.

Kolarevic (2001) afirma que a mudança de paradigma atualmente em curso na arquitetura contemporânea é fundamental e inevitável, colocando por terra muitas convenções bem estabelecidas. De fato, no projeto mediado por meio digital, as práticas do passado parecem não mais apropriadas. Modelos de design capazes de transformações contínuas e dinâmicas estão tomando o lugar das normas estáticas dos processos convencionais. As relações previsíveis entre projeto e representações são abandonadas em favor de complexidades geradas por meio de computadores. As geometrias topológicas e curvilíneas são produzidas com a mesma facilidade que geometrias Euclidianas de formas planas e volumes cilíndricos, esféricos e cônicos. O plano não é mais o elemento gerador do design. Cortes mantêm um papel

puramente analítico. Malhas, repetições e simetrias perdem sua razão de ser na medida que variáveis infinitas se tornam possíveis e a customização de massa oferece alternativas à produção em massa.

Estas chamadas arquiteturas digitais podem vir a mudar profundamente os processos de projeto e construção. Através da integração do *design*, análise, manufatura e montagem de edifícios por meio de tecnologias digitais, arquitetos terão a oportunidade de reinventar o papel do mestre-de-obras e reintegrar os ramos atualmente distanciados da arquitetura, engenharia e construção numa empresa colaborativa digital, fazendo a ponte entre projeto e produção, cujo vazio se abriu quando os arquitetos passaram a produzir desenhos.

Embora esta revolução ainda pareça muito distante de atingir a realidade dos países em desenvolvimento, exemplares destes novos edifícios já são comuns nos países mais industrializados, conforme Carpo (2002) escreveu (Fig. 15):

[...] algumas arquiteturas contemporâneas não poderiam ter sido concebidas ou construídas sem o auxílio do computador. Assim, alguns pretendem que as formas irregulares e complexas, tão amadas pelos criadores contemporâneos, dependem do emprego deliberado das mais recentes tecnologias informacionais. Sem os programas de concepção e de produção assistidas por computador, dizem-nos, o Museu de Frank Gehry, em Bilbao não teria podido vir à luz. Nem a geometria descritiva tradicional, nem o cálculo tradicional de estruturas tal como se ensinava nas Escolas de Engenharia até a introdução do método dos elementos finitos teriam permitido representar ou calcular um objeto de tal envergadura e complexidade – no qual é notável a ausência de linhas retas, paralelas ou perpendiculares. Contrariamente, Renzo Piano explicou recentemente que foi graças a essas mesmas tecnologias que ele pôde normalizar todos os componentes do edifício mais longo do mundo (o Aeroporto de Kansai, no Japão). O computador permitiu, com efeito, reduzir esta arquitetura sofisticada à reunião de 82 mil painéis em aço absolutamente idênticos. Seríamos tentados a concluir que a Informática, por essência, permite obter o resultado que se busca – no caso, tanto o máximo de estandardização visual e produtiva, quanto o seu contrário.

Neste novo contexto, as malhas ortogonais e repetições deverão perder seu sentido, na medida em que elementos diferentes podem ser fabricados com a mesma facilidade que elementos repetitivos. A produção em massa dará lugar a customização em massa. Surge, portanto, um novo meio de produção do espaço construído que obrigatoriamente demandará novas posturas com relação ao processo de projeto, com reflexos, inclusive, nos seus aspectos criativos e cognitivos. Rego (2001) identifica esta mudança salientando que já se pode, por exemplo, observar uma modificação nas tradicionais fases da progressão do projeto que não necessariamente seguem a seqüência de estudo preliminar, anteprojetado, projeto executivo e detalhamento. Algumas dessas etapas se confundem ou deixam de existir e, mesmo que estas estejam vinculadas ao tipo de representação gráfica e grau de definição do objeto arquitetônico, são

também expressão das fases de análise, síntese e avaliação referenciadas nos métodos de projeto e processos criativos.

### 3.3 PROJETO ARQUITETÔNICO MEDIADO POR COMPUTADOR

No âmbito da arquitetura, a introdução das inovações tecnológicas tem se dado através de várias frentes. Conforme já mencionado, estas novas tecnologias além de alterarem as exigências do ambiente construído, com implicações na sua ocupação e manutenção, estão modificando também os meios de produção do projeto. As tentativas de aproximação do computador ao processo projetual confundem-se com a própria história da evolução dos computadores. Neste caso cabe realizar um breve histórico de como se deu a introdução e evolução desta máquina no que concerne à atividade do arquiteto. Para tanto enfatizar-se-á a separação de seus componentes em duas partes: o hardware, ou parte rígida, correspondente a seus componentes físicos tais quais processador, monitor, teclado, etc; e o software, ou parte maleável, correspondente aos programas que utilizam a linguagem numérica para efetuar ações.

#### Hardware

Celani (2002) faz um resumo da evolução dos computadores desde a década de 40, quando os primeiros e rudimentares exemplares foram desenvolvidos com finalidades militares. Nos anos 50, os avanços técnicos possibilitaram a chegada da primeira geração de máquinas comerciais, ainda utilizando a tecnologia de tubos de vácuo e com baixa velocidade.

Os anos 60 assistiram o surgimento de mais duas gerações: De 59 a 65 surgiram computadores com transistores e circuitos, permitindo velocidades mais altas e o desenvolvimento dos primeiros sistemas CAD;

e uma outra geração, de 65 a 71, com circuitos integrados, com performance melhor e o começo da miniaturização dos componentes. O compartilhamento do tempo também foi um importante desenvolvimento desta geração, pois permitiu que diversos usuários utilizassem o computador simultaneamente, reduzindo custos e abrindo as portas para o conceito de rede.

A quarta geração de computadores, a partir de 71, foi marcada pela introdução do chip de silício (tecnologia LSIC - *Large Scale Integrated Circuit*), manufaturado pela INTEL, o que provocou uma revolução na capacidade de processamento e o surgimento de micro-computadores e a digitalização de diversos pequenos aparelhos eletrônicos equipados com componentes destinados a tarefas específicas. A alta demanda por estes processadores provocou a rápida redução de seu custo, permitindo sua utilização em aplicações industriais onde antes não era possível, como em robôs para a indústria automobilística, por exemplo. Durante este período, o uso do computador se difundiu nos campos da ciência, arquitetura e engenharia, coincidindo também com a chegada dos computadores pessoais (PC's).

Desde o início dos anos 80, foi desenvolvida uma quinta geração de computadores caracterizados pela utilização da tecnologia VLSI (*Very Large Scale Integration*), que aumentou substancialmente a densidade dos circuitos microprocessados. Tal tecnologia tornou possível a produção em massa de computadores pessoais e a inserção de processadores digitais em outros tantos equipamentos, tais quais brinquedos eletrônicos, calculadoras e até carros e aviões. Outra característica desta geração foi o aumento significativo da capacidade de armazenamento de dados em mídias ópticas.

Desde o início da década de 90, a explosão das redes e da Internet, a introdução de computadores portáteis extremamente leves e poderosos e a utilização crescente de tecnologias sem fio vieram provocar uma nova revolução digital, e mais uma vez dar um novo impulso às diversas aplicações da informática.

### Software

Este crescimento exponencial da performance dos computadores desde seu aparecimento, bem como a simultânea miniaturização dos seus componentes, somadas às recentes revoluções tecnológicas tornaram possível o desenvolvimento de ferramentas cada vez mais poderosas dedicadas ao auxílio do projeto. O conjunto destas ferramentas recebeu desde cedo a denominação de CAD – *computer aided design* – significando projeto auxiliado por computador. De fato quando este conceito surgiu, pensava-se como o computador poderia auxiliar os profissionais em tarefas específicas de **projeto**. Dentro deste universo novos termos e siglas foram cunhados, relativos às diferentes aplicações que surgiram para diferentes fins. A indústria mecânica passou a utilizar ferramentas CAM – *Computer Aided Manufacturing* (manufatura auxiliada por computador), enquanto as ferramentas específicas para engenharia civil se agruparam sob a sigla CAE – *Computer Aided Engineering* (engenharia auxiliada por computador). As ferramentas GIS – *Geographic Information System* (sistema de informações geográficas) – agruparam, por sua vez, aplicações relativas ao mapeamento gráfico e tabular de informações estatísticas e geográficas em conjunto, dando um impulso significativo às áreas da geografia e do urbanismo. No campo da arquitetura, no entanto, o conceito de auxílio ao projeto deixou de ser a idéia central, e o CAD passou, muitas vezes, a significar tão somente **desenho** auxiliado pro computador.

Realizando um histórico sobre o desenvolvimento de tais ferramentas, Celani (2000) relata que as primeiras experiências começaram nos anos 50, mas foi apenas nos anos 60 que surgiu a **primeira geração** de

programas CAD. O SKETCHPAD , apresentado como uma tese de doutoramento de Ivan Sutherland no MIT em 1963 é freqüentemente citado como o primeiro sistema CAD interativo que combinava a manipulação de dados com saída gráfica. Os primeiros sistemas produzidos em larga escala foram desenvolvidos para as indústrias automotiva e aeroespacial. Ao final da década, alguns poucos escritórios de arquitetura instalaram sistemas CAD, que, àquele tempo eram operados por técnicos e tinham pouca influencia no dia-a-dia do escritório.

Durante os anos 70, com computadores de 16 bits mais viáveis economicamente, uma **segunda geração** de sistemas CAD comerciais surgiu. Eram ainda caros, chamados sistemas *turnkey*, em um pacote que constava hardware, software, instalação, treinamento e suporte técnico. Arquitetos, no entanto, ainda eram muito céticos quanto à utilização de computadores em sua atividade. Havia uma preocupação que a máquina viesse a diminuir o fator humano na arquitetura.

Os anos 80 viram o desenvolvimento simultâneo de três novas gerações de sistemas CAD. A **terceira geração** foi a continuação natural das outras duas. Agora com computadores de 32 bits , mais firmas de arquitetura e engenharia adquiriram os pacotes *turnkey*. Foram também introduzidos em algumas escolas de arquitetura , mas ainda como uma atividade secundária.

Ao mesmo tempo uma **quarta e nova geração** de programas CAD simplificados estava sendo desenvolvida para uso nos novos computadores IBM e Apple de 16 bits, tornando o sistema finalmente disponível para pequenas firmas e arquitetos independentes. A interface gráfica baseada no uso do mouse, ícones e janelas, introduzida pela Apple e em seguida copiada pela Microsoft, também contribuiu para a definitiva aceitação e difusão dos PC´s desde então.

Esta simplificação dos programas CAD, provocou, no entanto, uma mudança radical em seus objetivos primordiais, depois da qual, possibilidades mais amplas do seu uso foram ignoradas. Esta nova geração de CAD genérico e padronizado para uso em PC's não objetivava auxiliar o arquiteto nas etapas conceituais do projeto, e se limitavam a automatizar o processo de desenho e representação. As aplicações mais especializadas se mantiveram restritas ao meio acadêmico desde então.

A **quinta geração** do CAD apareceu relacionada com o desenvolvimento de um novo tipo de computador nos anos 80: a estação gráfica, máquina com poder de processamento bem maior que os PC's e com recursos específicos para alta performance com gráficos e modelos tridimensionais. Foram instaladas em firmas de porte médio e em universidades, combinadas com redes de computadores pessoais. Foi também esta geração a responsável pelo início da discussão sobre o papel da modelagem sólida tridimensional no âmbito da profissão, em contraste ao uso da representação bidimensional convencional.

Ao final da década, no entanto, não havia mais diferença significativa entre as performances e o custo dos PC's e das estações gráficas, o que levou ao surgimento de uma **sexta geração** de sistemas CAD. Durante os anos 90, o CAD deixou de ser uma novidade e passou a ser item obrigatório nos escritórios de arquitetura, sendo sinônimo de produtividade. O desenhista passou a ser chamado de "Cadista", e a impressão de documentos ganhou rapidez e precisão com o advento dos *plotters* à jato de tinta, em oposição aos lentos e imprecisos *plotters* de pena. Começaram a surgir aplicações específicas para diversas áreas, tais quais estruturas, instalações elétricas e hidráulicas. Também a representação tridimensional do projeto ganhou impressionante realismo com o desenvolvimento de aplicações para geração de imagens fotorrealísticas, os chamados renderizadores. (Fig. 16 )





Figura 16: Imagem renderizada de uma edificação. Modelagem do autor. Projeto: Arqº Paulo Costa.

Uma **sétima geração** de programas começou a tomar partido das facilidades de comunicação em rede e por Internet, fazendo surgir o conceito de projeto colaborativo, ou *groupware*. Tais soluções contemplam não apenas a representação do projeto, mas seu completo desenvolvimento e gerenciamento, desde estimativas de custo e de prazo, tornando estas informações disponíveis para todos os membros da equipe envolvidos com o trabalho. Ao mesmo tempo os elementos gráficos ganharam um pouco mais de inteligência através de objetos parametrizados, onde constituintes do projeto como esquadrias e revestimentos passaram a ser reconhecidos como tal e não apenas como um conjunto de linhas.

Atualmente, paralelo ao desenvolvimento de ferramentas cada vez mais robustas que gerenciam o projeto e a obra como um todo, delinea-se uma nova geração de programas. São pequenos

programas com uma interface mais simples, porém com recursos razoavelmente avançados no que diz respeito à criação e manipulação de formas. Na verdade, não se intitulam sistemas CAD, talvez para fugir da conotação de interface difícil e aprendizado complicado que estes sistemas adquiriram. São denominados *Sketch-based softwares*. De fato, esta tendência em recuperar o caráter conceitual do CAD ganhou destaque de alguns anos para cá, e fabricantes de grande porte, como a Autodesk, já apresentam em sua linha de produtos soluções que contemplam ferramentas de auxílio à geração e desenvolvimento de idéias. Esta nova geração de *softwares* pode vir a recuperar o elo perdido entre computador e criação, possibilitando uma aproximação maior entre arquiteto e máquina no momento da concepção do projeto.

### 3.3.1 Reflexos do CAD no cotidiano do arquiteto

Todas estas aplicações, como foi dito, contribuíram de forma substancial para um aumento da produtividade dos escritórios de arquitetura, que passaram a produzir mais em menos tempo, ainda que a qualidade permanecesse um item duvidoso. Copiar soluções e detalhes construtivos de um projeto para outro se tornou uma facilidade, o que pode ter levado a uma certa padronização da construção. Além disso, a mesma facilidade com que se pode copiar boas soluções pode fazer com que erros ou soluções desastrosas sejam multiplicadas. Menegotto (2000) aborda a questão da influência do CAD no escritório de arquitetura salientando que os projetistas mais antigos foram surpreendidos pelo surgimento do computador como ferramenta de desenho e projeto em plena carreira profissional, provocando uma verdadeira reviravolta no método de trabalho destes com sua equipe. De fato, quando os projetos eram trabalhados na prancheta, o arquiteto podia desenhar seus esboços e passá-los aos desenhistas para que estes o desenvolvessem com maiores detalhes, sendo que o autor do projeto e o desenhista compartilhavam os conhecimentos sobre as técnicas de desenho e havia um intercâmbio de informações eficiente. “[...] *Ambos compreendiam as escalas que estavam trabalhando, o traço no papel era conhecido, o projeto podia ser visualizado como um todo, a produção de cada desenhista podia ser medida e avaliada pelo projetista e a prancheta funcionava como uma sala de aulas, onde o desenhista aprendia, na prática, os saberes do projetista*” (MENEGOTTO, 2000). Hoje o arquiteto realiza os primeiros esboços e repassa ao desenhista *cadista* para que este os desenvolva no computador. Estes novos desenhistas são, geralmente, jovens estudantes que embora possuam muita motivação, se ressentem da falta de experiência, uma vez que as únicas exigências requeridas de um *cadista* são noções de desenho técnico e conhecimento dos comandos usuais do programa de desenho. O projeto é discutido diretamente na tela do computador, tarefa dificultada pela visão fracionada do monitor, pelo traço serrilhado e colorido que não representa o valor das linhas no

desenho e pelo novo conceito de escala atrelado ao comando *zoom*. Agora o aprendiz "ensina" o mestre a nova ferramenta, invertendo o processo lógico de ensino-aprendizado. Menegotto acredita que esta súbita inversão de certa forma minou a confiança dos arquitetos de média idade, ao lançar um preconceito que apenas os mais jovens têm a capacidade de desenhar e projetar com o auxílio do computador. A autor enfatiza, portanto, a necessidade de uma reformulação na educação de arquitetos, com a introdução de um maior conteúdo matemático lógico e técnico para que os novos profissionais estejam aptos não somente a utilizar as novas ferramentas, mas entender seu funcionamento e características, ajudando a produzir sistemas especializados que ainda são uma promessa. Esta aproximação entre arte e técnica poderá propiciar a retomada do uso do computador nos momentos iniciais de criação do projeto.

### 3.3.2 Cad e Criatividade

Duarte (2000) aborda a questão da aproximação do CAD ao processo criativo enfatizando o papel do instrumento como interlocutor entre sujeito e ação, destacando a influência deste na conformação do produto final e colocando a possibilidade de uma mudança nos paradigmas do processo projetual.

O autor destaca que o instrumento é essencial para tornar concepções mentais em formas e ações materiais, e caracteriza o mesmo como uma necessidade de extensão do corpo, "[...] *já que este (o corpo) não é necessariamente um exemplo muito satisfatório de tecnologia*" (ARNHEIM, 1989 apud DUARTE, 2000). Duarte afirma que o instrumento pode propiciar uma ampliação da potência humana em uma operação, mas também caracteriza esta operação, estabelecendo conformações e insinuando técnicas. Da mesma forma a utilização do instrumento pode caracterizar intenções.

No caso do projeto arquitetônico, pode-se deduzir que os instrumentos de desenho têm influência direta na conformação do projeto, e, por conseguinte no ambiente construído. Tomando-se como exemplo o compasso, vê-se que sua abertura indica o raio máximo que pode ser obtido no desenho de um arco, induzindo ao projetista a se ater a este limite no desenho de curvas. Se dispuser de um instrumento como o computador, que não possua esta limitação, este se verá mais livre para testar curvas de raios ilimitados.

Duarte (2000) afirma que "[...] se o computador tem grande capacidade em efetuar algumas operações, por outro lado, o homem a tem no descobrimento de novas e inesperadas combinações de elementos e conceitos, na criação de táticas e no esclarecimento de problemas ambíguos. O homem é capaz de inventar relações entre as coisas e de observá-las em um novo marco, mas em uma situação complexa não pode explorar profundamente estas relações de forma rápida e sistemática, de acordo com regras prescritas".

As tentativas de aproximação do computador ao processo criativo têm sido realizadas de acordo com diferentes abordagens. Houve uma época em que se pensava ser possível compreender todos os passos do processo projetual e reduzi-los a operações que o computador conseguiria exercer de maneira independente. Os técnicos em programas de computador começaram a pensar na possibilidade de criar algoritmos matemáticos ou modelos de simulação com a intenção de ajudar a compreender as distintas etapas do projeto, a fim de poder chegar a formas arquitetônicas por caminhos mais seguros e mais claros. (DUARTE, 2000). Esta corrente, típica do final dos anos sessenta, trouxe à tona questões importantes sobre metodologia de projeto, mas logicamente fracassou nesta tentativa de automatizar quase por completo o processo de projeto, uma vez que os problemas de projeto se mostraram mais complexos do que meros problemas numéricos. A aproximação do computador ao processo de projeto a partir deste momento

passou a se restringir à geração de documentos arquitetônicos bidimensionais e na representação tridimensional da forma.

O interesse em retomar os aspectos conceituais do CAD voltou a aparecer a partir do início dos anos 90. Pesquisadores dedicam-se, desde então, a estabelecer uma base teórica sólida que seja capaz de levar ao desenvolvimento de aplicativos que realmente auxiliem o arquiteto nas primeiras fases do projeto arquitetônico. Neste sentido, para auxiliar na compreensão deste processo, duas experiências são dignas de destaque: A experiência de Gabriela Celani e do *Desing Machine Group*.

#### 3.3.2.1 A Experiência de Gabriela Celani

Celani (2002) desenvolveu interessante trabalho que apresenta algumas possibilidades de inserção do computador no processo criativo. A pesquisa da autora teve como objetivo gerar aplicações práticas de conceitos de composição estabelecidos anteriormente, mas que até então não haviam sido utilizadas de forma efetiva. Através de noções básicas de programação e a utilização de um sistema CAD genérico, a autora desenvolveu miniaplicativos que demonstram novas possibilidades de utilização de ferramentas computacionais na síntese do projeto.

#### **Pensamento Computacional**

Todos os conceitos de composições que serão examinados no decorrer deste tópico procuram estabelecer uma correlação entre composição arquitetônica e pensamento computacional. Quanto a este termo, Celani (2002) escreve que o mesmo, inevitavelmente, traz a idéia de alguma coisa feita através de computadores,

mas lembra que a máquina não é de fato essencial para que uma "computação" ocorra. De fato, a relação estreita entre lógica, matemática e arquitetura nem sempre é evidente, mas é essencial para o desenvolvimento de um pensamento computacional adequado e que possa gerar soluções criativas para o projeto. Esta relação foi devidamente explorada e analisada por MITCHELL (1990) em seu livro *The Logic of Architecture*, onde o autor ensaia uma teoria sobre a gramática e sintaxe arquitetônica, evidenciando questões centrais da teoria do projeto baseadas nas pesquisas em Inteligência Artificial, Ciências Cognitivas e Teoria da Computação. Mitchell primeiramente considera como os edifícios podem ser descritos através de palavras e mostra como tais descrições podem ser anotadas como um tipo de linguagem de programação. Voltando-se para a questão da representação através de desenhos e modelos em escala, o autor desenvolve a idéia de Universos do projeto, onde formas gráficas básicas podem ser manipuladas de acordo com certas regras gramaticais. O processo de projeto é visto, pois, como um processo computacional com o objetivo de satisfazer predicados de forma e função explicitados numa linguagem específica.

Segundo Celani, o pensamento computacional tem sido utilizado em arquitetura em três diferentes momentos: na **síntese** (geração) do projeto, na sua **representação** e na sua **análise**.

A **representação** é um instrumento utilizado em várias áreas do conhecimento científico, sempre que é impossível construir ou testar diretamente o objeto em estudo. A resolução do problema é baseada no uso de modelos com finalidades de síntese e de análise. Tais modelos são representações abstratas do objeto real e podem utilizar uma linguagem analógica ou simbólica. Em arquitetura, os diagramas esquemáticos são exemplos de representação simbólica, enquanto croquis utilizam uma linguagem analógica. A distinção

entre representação e síntese é muito estreita, no entanto, uma vez que os dois processos estão intimamente interligados.

A **análise** é feita através de comparações de modelos em um sistema analógico ou simbólico. As representações do design são testadas de acordo com parâmetros previamente definidos, conseqüentemente a análise só pode ser efetuada depois que alternativas de projeto ou uma solução final tenha sido gerada. São exemplos típicos de análise em arquitetura as simulações estruturais, de iluminação, acústica e conforto ambiental.

O uso do pensamento computacional na **síntese** do projeto merece atenção especial, pois é a etapa mais importante na fase de concepção. Celani divide esta função em duas correntes principais: resolução de problemas, sendo esta mais estruturada e racional; e projeto explorativo / generativo, onde se leva mais em conta a criatividade e originalidade. Dentro da primeira corrente se enquadram métodos originários das pesquisas dos anos 60 e 70 em Ciências Cognitivas e Inteligência Artificial, quando estava em discussão a capacidade dos computadores em "pensar" e/ou reproduzir o comportamento humano em diferentes situações, fosse um jogo de xadrez ou a resolução de problemas de projeto. Foi desenvolvida uma técnica, conforme mencionada anteriormente, chamada de Análise Protocolar, onde as partes bem definidas do problema eram resolvidas por um processo de otimização envolvendo álgebra linear. As partes menos definidas do problema requeriam a aplicação de métodos heurísticos mais sofisticados.

A seguir serão analisados os conceitos de composição arquitetônica utilizados pela autora baseados no pensamento computacional. A autora enfatiza que muitas vezes há sobreposição de conceitos em um

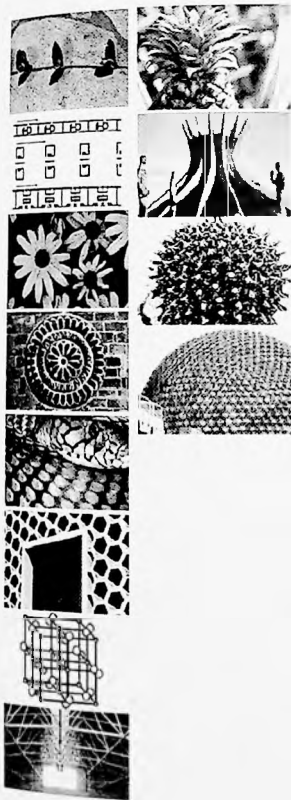


Figura 17: Exemplos de Composições Simétricas na Arquitetura e na Natureza.  
Fonte: Celani (2002)

determinado tópico, por ser difícil encontrar exemplos que se utilizem exclusivamente de apenas uma técnica.

### Simetria (Fig. 17)

Um dos mais antigos conceitos computacionais em arquitetura, exemplos de simetria podem ser encontrados facilmente na natureza e nas edificações. A simetria bilateral, o tipo mais comum, está presente na maioria dos animais e nas construções clássicas. Cobogós são exemplos de elementos arquitetônicos que se utilizam deste conceito. A simetria também pode ser espacial, como na Catedral de Brasília e nas estruturas geodésicas. A maioria dos sistemas CAD oferece recursos que permitem a criação de padrões simétricos planos ou espaciais, através de operações de espelhamento (*mirror*) ou de múltiplas cópias (*array*). No entanto, estes programas não incluem recursos que permitam uma experiência dinâmica com diversas configurações de simetria, o que permitiria que o processo de pensamento gráfico fluísse de maneira mais eficiente.

### Recursão (Fig. 18)

Este conceito consiste na aplicação de uma seqüência de modificações que são cumulativamente aplicadas a cada novo elemento adicionado numa seqüência. Se estas transformações se restringirem à translação ou rotação, a composição resultante pode ter as mesmas características de alguns tipos de simetria, mas se uma diferença de escala também for utilizada, o resultado não será simétrico. Celani cita alguns tipos de recursão e dá exemplos destas ocorrências na natureza e na Arquitetura. Nas janelas góticas temos um exemplo de subdivisão recursiva e nas portas góticas recursão concêntrica. Já nas estruturas do arquiteto Calatrava e nas árvores pode-se identificar na ramificação um tipo de recursão. Os fractais, como a curva de Koch, também são citados como exemplos de ramificação e subdivisão. A autora relata que programas

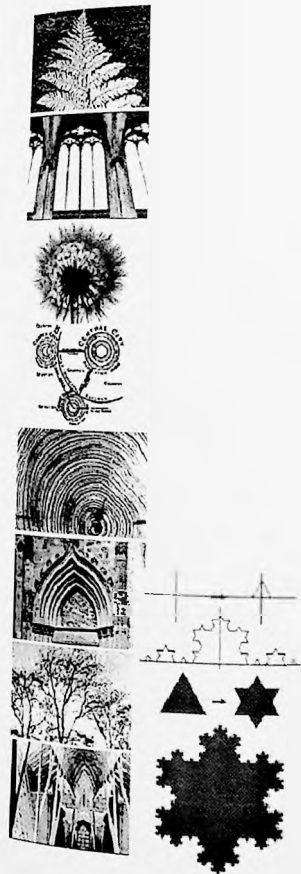


Fig. 18: Exemplos de Recursão  
Fonte: Celani (2002)



CAD não trazem explicitamente comandos que permitem operações recursivas, mas estas podem ser adicionadas através do uso de programação e de artifícios como a criação de blocos aninhados (um bloco que faz parte de outro maior). Qualquer mudança efetuada na definição do bloco original acarretará mudanças recursivas em todas as outras inserções do mesmo.

#### Formas Parametrizadas (Fig. 19)

Um parâmetro define uma variável segundo a qual uma forma pode adquirir diferentes configurações. Ao se tomar uma janela retangular como exemplo, pode-se identificar alguns parâmetros que determinam a sua aparência, tais quais o peitoril, a sua altura e largura. Ao mudar os parâmetros de uma determinada forma pode-se explorar diferentes composições. Programas CAD mais específicos para arquitetura já incluem a possibilidade de inserção de elementos parametrizados, tais quais paredes, janelas e escadas, permitindo que suas propriedades sejam modificadas dinamicamente, e que estes se adequem mais facilmente a modificações maiores efetuadas no projeto.

#### Sistemas Generativos e Algoritmização de Procedimentos de Projeto (Fig. 20)

O maior desafio no desenvolvimento de programas de auxílio ao projeto está na criação de aplicativos que venham a apresentar alternativas a um determinado problema de projeto, baseados em condicionantes dados. Este tópico está intimamente relacionado com os outros conceitos apresentados, uma vez que as possíveis maneiras de gerar alternativas de projeto são através da aplicação de diferentes arranjos simétricos, na aplicação de regras em diferentes combinações recursivas e na variação de parâmetros dentro de uma determinada gama de valores. A dificuldade se torna ainda maior, pois se existe apenas uma solução para problemas bem definidos, outros problemas não bem definidos podem ser satisfeitos por um número razoavelmente grande de soluções. A implementação de aplicações com estas características

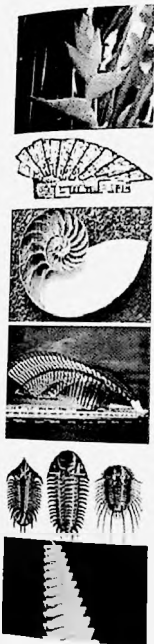


Fig. 19: Variações Paramétricas: Fonte: Celani (2002)

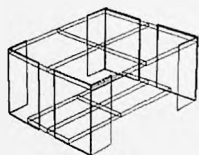
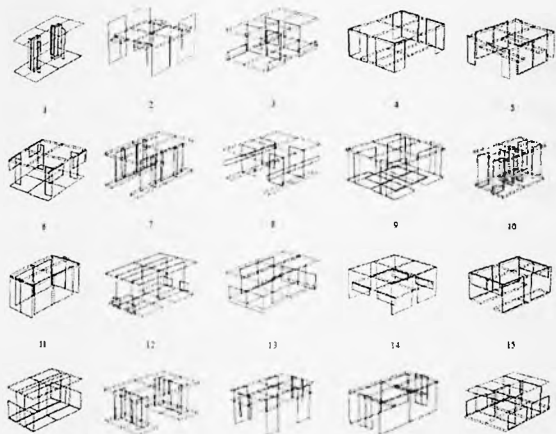


Fig. 20: Desenvolvimento  
Através de Algoritmos  
Evolutivos  
Fonte: BENTLEY (1999)

mais freqüência e facilidade.

Em suma, a tentativa de Celani de aproximar os sistemas CAD ao processo criativo é ao nosso ver extremamente válida e pioneira em certos aspectos. A

implicam o uso de programação avançada e técnicas de Inteligência Artificial. Neste sentido, aplicações práticas deste tópico ainda não foram demonstradas.

### Formas Emergentes (Fig. 21)

Segundo Celani, a emergência no processo de projeto pode ser descrita como a habilidade em definir novas formas que emergem da adição, subtração e interseção de outras formas. Este é o método pelo qual o arquiteto comumente alcança a inovação, através da combinação de formas de uma maneira inusitada e da percepção de ambigüidades. Estas formas emergentes não estão sempre evidentes, no entanto, e percebê-las exige um olho bem treinado. Desenvolver aplicativos com esta capacidade tem se mostrado uma tarefa difícil, uma vez que fazer o computador "enxergar" estas ambigüidades exige operações computacionais complexas. Celani sugere, no entanto, que os comandos convencionais dos programas CAD podem ser utilizados de forma a gerar um maior número de alternativas de forma que o arquiteto possa "ver" estas formas emergentes com

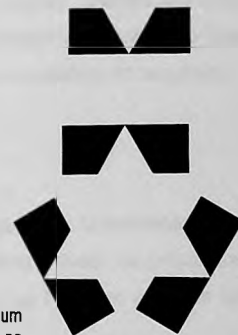


Fig. 21: Combinação de um  
elemento resultando no  
aparecimento de uma forma  
emergente. Fonte: GERO (1996)

aproximação que a autora realiza entre pensamento computacional e arquitetura também é essencial para uma melhor compreensão das relações existentes entre arquitetura e lógica, e de como essas relações podem ser manipuladas de forma a incrementar o processo criativo. Com este trabalho observa-se que o pensamento computacional pode ser utilizado no âmbito do projeto muito além da mera representação e análise da forma. No entanto, algumas constatações realizadas pela autora reforçam a idéia de que embora o programa utilizado ofereça recursos que possibilitem explorações mais criativas, estes resultados só podem ser obtidos através de uma extensa e laboriosa customização do programa, onde o usuário precisa dominar conceitos de linguagem de programação. Pode-se imaginar que a dificuldade relatada neste sentido é própria da formação e característica do arquiteto. Como foi visto, a criatividade em arquitetura está mais relacionada à solução de problemas não bem definidos, tomando partido das capacidades do pensamento divergente e imaginativo. Torna-se difícil supor, portanto, que os estudantes e profissionais em geral venham a assimilar conceitos de programação e passem a utilizá-los de forma regular e produtiva no dia-a-dia da profissão. Esta tarefa, ao nosso ver, deve ser confiada a equipes multidisciplinares encarregadas da elaboração de novos softwares dotados de recursos que possibilitem a exploração dos conceitos apresentados, utilizando, porém, uma interface mais adequada ao processo criativo do arquiteto.

### 3.3.2.2. O Design Machine Group

O *Design Machine Group*, grupo de pesquisa do departamento de arquitetura da Universidade de Washington tem apresentado um trabalho consistente no sentido de investigar mais a fundo os processos cognitivos envolvidos no momento criativo do arquiteto e na tentativa de aplicar os recentes avanços da tecnologia da informação como auxiliares nestes processos.

O diferencial deste grupo, que desenvolve um grande número de projetos de pesquisa abordando áreas distintas do processo projetual, é que cada linha de pesquisa corresponde ao desenvolvimento de um aplicativo experimental elaborado com base nos conceitos teóricos estudados.

Destacam-se os trabalhos de Ellen Yi-Luen Do e Mark D. Gross, pesquisadores que conduzem uma linha de pesquisa batizada de *Back of an Envelope Design*, que se ocupa em estudar precisamente o papel das modalidades gráficas conceituais no desenvolvimento do projeto, e de que forma este processo pode vir a tirar partido das ferramentas computacionais dedicadas. Estas pesquisas apontam na direção do desenvolvimento do chamado "papel inteligente", ou seja, aplicativos onde a Interface se dá através do uso de canetas digitais utilizadas diretamente sobre a tela do computador.

Do (2002) realiza um histórico das tentativas de aproximação entre desenho conceitual e ferramentas computacionais, agrupando estas ferramentas em três distintos grupos. A princípio a autora lista aplicativos que possuem a palavra *Sketch* (Esboço) no nome, mas que a rigor não são programas que suportam o esboço à mão livre, uma vez que suas interfaces não permitem a entrada de linhas irregulares. São citados o pioneiro SKETCHPAD de Sutherland, de 1963, o projeto SKETCH de Zeleznik et al. de 1996 e o SKETCHIT de Stahovich's também de 1996. A seguir são listados aplicativos que permitem a entrada de esboços como *input*, e que transformam estas linhas irregulares em linhas retas e curvas regulares. Neste grupo são citados o STRAIT de Taggart, de 1975 e o Sketch-Solid de Sivaloganathan, de 1991. O terceiro grupo mencionado lista os programas que permitem não só a entrada, mas a manipulação de esboços e ações relativas a estes, utilizando canetas digitais para entrada dos desenhos. São citados o PERSKETCH de Saund e Moran de 1994, o TRANSLUCENT PATCHES, de Kramer e Genau de 1995, o SILK, de Landay e Myers de 1995, o NUSKETCH, de Forbus et al, de 2001 e o ESQUIRE, de Leclercq de 2001.

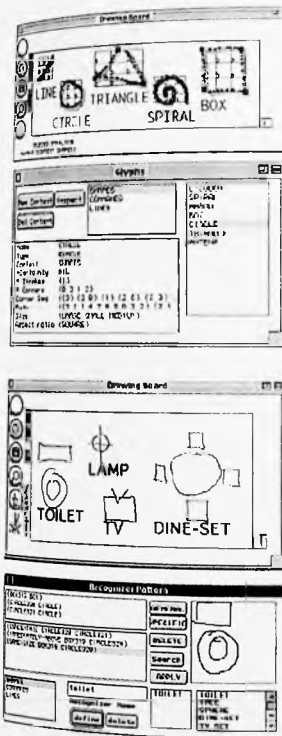


Fig. 22: Telas do Electronic Cocktail Napkin. Fonte: Do (2002)

Baseada nas pesquisas de análise protocolar e na experiência dos sistemas mencionados, Do (2002) estabeleceu vários sistemas protótipos que podem vir a suportar o esboço auxiliado por computador. Estes sistemas partem da definição de três níveis de habilidades<sup>9</sup>. Em um primeiro nível, uma ferramenta de auxílio ao esboço deve ser capaz de reconhecer símbolos gráficos estáticos, como formas geométricas básicas. Em um segundo nível a ferramenta deve ser capaz de interpretar a relação entre estes símbolos e reconhecer intenções projetuais. Em um terceiro nível o programa deve agir com um sistema reativo, sendo capaz de utilizar o desenho como Interface para o acesso a, por exemplo, bancos de dados de soluções formais (*knowledge-based systems*) e programas de simulação.

Do (2002) descreve seus esforços e de seu grupo em desenvolver sistemas protótipos computadorizados que suportem a entrada e a manipulação de desenhos conceituais. Estes esforços resultaram no desenvolvimento de alguns programas experimentais, dentre os quais se destaca o **Electronic Cocktail Napkin**. (Fig 22) Entre outros recursos, este programa é capaz de realizar o reconhecimento e análise de diagramas gráficos. O seu sistema registra a entrada da informação através de uma mesa digitalizadora e a decompõe através de comparação com uma base de dados existente.

Esta base de dados pode ser expandida pelo usuário, incluindo novos símbolos e atribuindo diferentes nomes a estes.

<sup>9</sup> A autora relaciona estas habilidades a três ações que fundamenta que considera no ato de pensar através de esboços: Desenhar (Draw), Agir (Act) e Reagir (React)

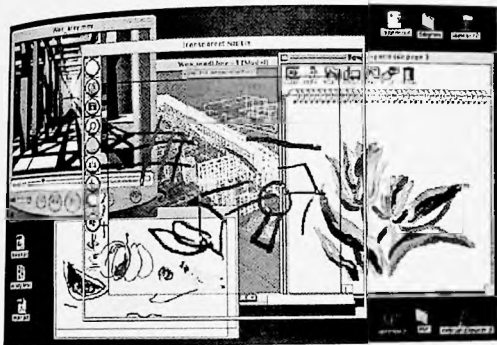


Fig. 23: Tela do Design Amanuensis. Fonte: Do (2002)

Formas geométricas básicas podem, então, ser combinadas formando novas configurações. O mecanismo do programa utiliza regras gráficas a fim de checar e produzir relações binárias entre quaisquer duplas de objetos. Estas relações espaciais, tais quais concentricidade, relação de conteúdo, sobreposição e intersecção são organizadas hierarquicamente e podem ser ativadas ou desativadas quando o usuário define uma nova configuração. O programa também leva em conta as características dos desenhos conceituais do arquiteto, quando este se utiliza papel semitransparente para copiar partes de um desenho, mover ou rotacionar elementos e reorganizar e repensar soluções alternativas. Neste sentido o programa incorpora diversos modos de utilização de camadas, que podem ser sobrepostas e atribuídas diferentes graus de transparência. Em adição a isto, a própria janela do programa pode ser utilizada de modo transparente de forma que o usuário possa trabalhar no esboço ao mesmo tempo em que visualiza outras fontes de inspiração, tais quais coleção de imagens ou modelos tridimensionais. Também está presente no software um recurso de filtragem de desenhos, possibilitando que esboços sejam simplificados, evidenciando as partes essenciais. Esta função pode, por exemplo, descartar informações relativas a pressão imposta pela caneta digital, reduzir linhas traçadas umas sobre as outras, ou descartar elementos menores que um certo tamanho e que não puderam ser identificados pelo programa.

Outros programas experimentais foram desenvolvidos pelo grupo. O *Design Amanuensis* (Fig. 23) permite que, concomitante ao uso do *Cocktail Napkin*, seja possível o registro verbal das ações realizadas através do reconhecimento da voz do usuário. Estas descrições orais são sincronizadas a cada etapa do desenho, ou relacionadas a um elemento específico, e podem ser recuperadas a qualquer tempo, exibindo o processo de projeto como um pequeno filme.

O sistema chamado de **GIDA** (*Graphics Interpreter of Design Actions*) permite a análise de uma seqüência de desenhos, auxiliando o arquiteto a identificar no próprio desenho as mudanças de atitude referentes a este.

**Right-Tool-Right-Time** é o nome dado a um outro sistema desenvolvido de forma que, utilizando o desenho como interface, o programa seja capaz de identificar o contexto e as intenções da tarefa de projeto, ativando bases de dados inteligentes concernentes ao mesmo. Como exemplo, ao reconhecer o desenho de linhas de dimensões o programa fará aparecer uma calculadora. Ao reconhecer desenhos de seções e raios luminosos o programa pode ativar um simulador de iluminação.

A despeito do caráter experimental destes sistemas, fica clara a importância de manter o esboço como elemento chave na interface arquiteto-computador. Qualquer programa que pretenda suportar o processo criativo no projeto arquitetônico não poderá fazê-lo sem levar em conta o gestual característico do arquiteto e os processos mentais envolvidos neste ato. “[...] *Acreditamos que o desenho é o elemento chave no processo de projeto e como tal deve ser examinado cuidadosamente e utilizado como interface em ferramentas computacionais de auxílio ao projeto. Quando nos referimos ao desenho, estamos falando especificamente de esboços e diagramas realizados à mão livre. Em contraste com as variadas ferramentas computacionais que oferecem recursos de desenho digital, acreditamos ser importante manter o desenho*

em forma de esboço, uma vez que este trás implícitos ambigüidades e imprecisões que convidam à reflexão e a leituras alternativas do projeto." (DO, 2000) (tradução do autor)<sup>10</sup>

### 3.4 OBJETIVOS DA TECNOLOGIA

Até aqui foi possível compreender que o ato de desenhar está intimamente ligado ao processo criativo do arquiteto. Também foi visto que o desenho consiste de uma tentativa de externalizar idéias espaciais, seja através de diagramas abstratos, seja através de croquis que buscam dar forma a estes diagramas. Além disso, o desenho também funciona como realimentador deste processo, revelando emergências e ambigüidades, que voltam a influenciar as idéias, permitindo a reflexão e geração de novas alternativas. Pode-se concluir que qualquer instrumento que venha a incrementar qualquer etapa deste processo cíclico poderá incrementar o processo criativo como um todo. É de se supor, portanto, que as ferramentas computacionais com seus inumeráveis recursos de criação e edição de formas em duas e três dimensões viessem a ser este elemento de incremento ao processo. O fato é que, paralelo a este imenso potencial em representar a forma, O CAD, pelas características de seus recursos e interface, falha na aproximação ao processo criativo na medida em que provoca uma ruptura no gestual característico do arquiteto, impedindo que processos essenciais à geração de novas idéias aconteçam, como a descoberta de ambigüidades e a identificação de emergências, possibilitadas pelo traço irregular de um esboço. O desafio parece ser, portanto, estabelecer como pode ser possível tirar



Fig. 24 Possíveis momentos de introdução do Cad no processo criativo. Ilustração do autor.

<sup>10</sup> We believe drawing is the key element in the design process, and it should be carefully examined and used as the interface in computational tools to support design. By drawing, specifically we mean freehand sketching and diagramming. In contrast to the many computational tools that provide computational drafting capabilities, we believe it is important to keep the sketch form because it supports ambiguity and imprecision and invites reflection and alternative readings of the drawing.



## Processo "analógico" de projeto

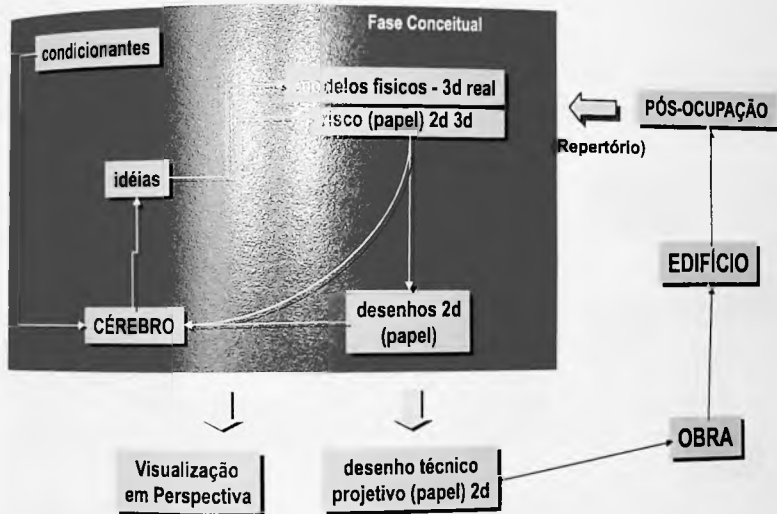


Fig. 25: Processo analógico de projeto. Ilustração do Autor.

partido dos recursos que o CAD oferece, sem prejuízo ao processo criativo tradicional. Para tanto será analisado como se deu a aproximação das ferramentas digitais ao processo de projeto dos recursos que o CAD oferece, sem prejuízo ao processo criativo tradicional. Para tanto será analisado como se deu a aproximação das ferramentas digitais ao processo de projeto.

Pode-se a princípio analisar o esquema "analógico" de projeto (Fig. 25), evidenciando como acontecem todas as suas fases. Sem a mediação do computador em nenhuma etapa, o projeto é basicamente desenvolvido em papel. Na fase conceitual, as idéias são representadas por meio de desenhos e croquis ou em modelos físicos, que geram mais subsídios para novas especulações e geração de novas idéias que são novamente repassadas ao papel. Ao encontrar uma solução satisfatória, esta é desenvolvida por meio de desenho técnico projetivo para fins de aprovação legal e geração dos documentos executivos. Também podem ser produzidas visualizações em perspectiva. Todo este processo acumula experiências gradativas que vão somando ao repertório do arquiteto e de sua equipe, o que também gera conhecimento para o desenvolvimento de novos projetos.

## Inserção de etapas digitais:

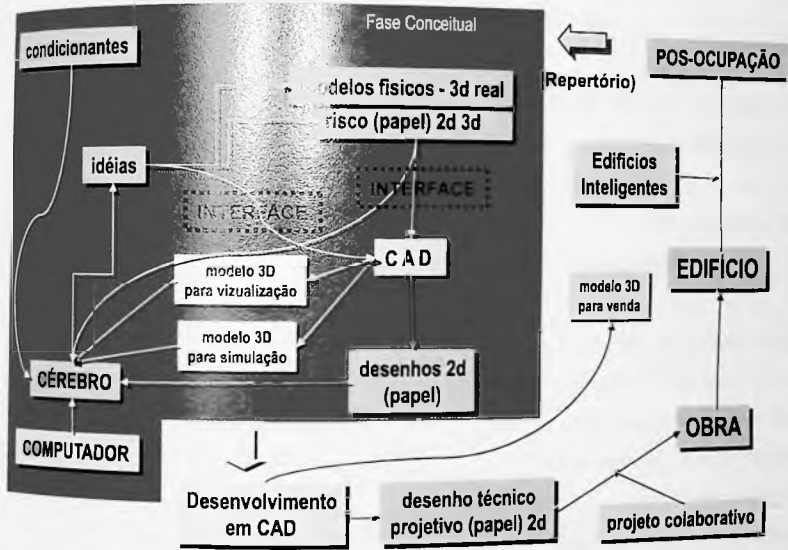


Fig. 26: Introdução de Etapas Digitais. Ilustração do Autor.

colaborativos, e à própria manutenção e gerenciamento do edifício que podem ser realizados por meio de sistemas inteligentes controlados pelo computador.

Nota-se claramente que até aqui o computador é utilizado basicamente somente para representação do projeto e gerenciamento da obra e do edifício. O que se propõe é a inserção de outras etapas dentro da

Com a introdução do uso da tecnologia digital no processo (Fig. 26), algumas etapas passam a utilizá-lo como mediador. A princípio o CAD foi introduzido como um instrumento que conseguia rapidamente dar precisão aos desenhos e croquis realizados pelo arquiteto. Esta primeira digitalização do projeto, geralmente é realizada por desenhistas ou estagiários. Os desenhos são então impressos e servem de base para novas idéias e modificações, realimentando o processo conceitual. Exaurido este processo cíclico, o projeto é finalmente desenvolvido no CAD de onde são extraídos os documentos impressos necessários à aprovação e execução da obra e também possíveis modelos 3D com finalidade de venda do produto. Outras etapas digitais que recentemente foram introduzidas neste processo dizem respeito ao surgimento dos projetos

fase conceitual. Identificam-se alguns principais momentos onde a utilização do CAD pode extrapolar a finalidade de representação e conseguir ser um instrumento de apoio à criação, fazendo parte realmente do processo de síntese do projeto.

Inicialmente, o processo de geração de diagramas e esboços pode vir a ser suportado e auxiliado por computador. Com isto, o gestual e características deste processo seriam mantidos, adicionando-se os recursos disponibilizados pela máquina. O arquiteto passaria a contar com um meio extremamente eficiente de indexar, catalogar e registrar este processo, tomando partido ainda das possibilidades demonstradas de acesso a bases de dados inteligentes.

Supõe-se, entretanto, que o ato de esboçar diretamente no computador, mesmo que se disponibilizem ferramentas eficientes e acessíveis, venha a ser objeto de resistência por parte dos profissionais. De fato, a íntima relação existente entre arquiteto, lápis e papel dificilmente será deixada de lado. Neste caso, sugere-se que a transição entre esboço e desenho digital seja realizada pelo próprio arquiteto, de forma que este possa tomar partido dos recursos do programa para fazer ajustes e realizar novas descobertas e *insights* durante o processo. Nestes momentos, a Interface homem-computador torna-se item de fundamental importância, uma vez que a facilidade e fluidez com esta transição ocorre é que vai determinar a eficiência do processo. Desta forma, ao invés da tradicional seqüência onde os desenhos são primeiramente digitalizados para duas dimensões, o arquiteto tiraria proveito dos recursos de geração de formas tridimensionais. Imagina-se que neste processo seja possível a identificação de novas ambigüidades e emergências, desta vez disponibilizadas pelos recursos do programa. A partir daí o projeto pode ser totalmente desenvolvido em três dimensões, sendo que a documentação bidimensional pode ser extraída do modelo a qualquer momento.

## Tendência: processo digital de projeto (paperless design)

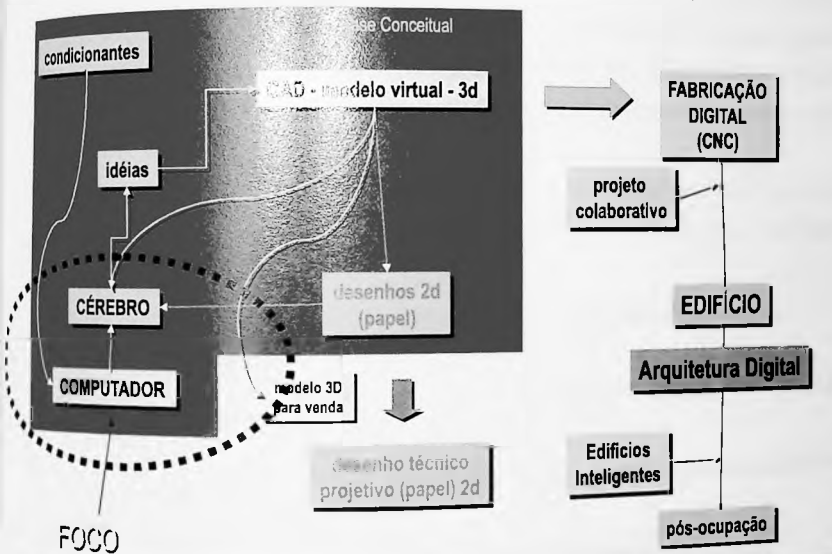


Fig. 27: Processo digital de projeto. Ilustração do Autor.

O segundo momento tiraria partido do primeiro no sentido de utilizar o material produzido para efetuar análises da solução inicialmente proposta. Podem ser geradas imagens para visualização, por exemplo, de forma a embasar novas especulações sobre forma e função, ou ainda, executar simulações sobre iluminação, conforto ambiental, etc, que também servirão de apoio a novas decisões e geração de novas idéias.

O terceiro momento, e o mais controverso de todos, diz respeito à possibilidade do computador em gerar por ele mesmo soluções para o problema do projeto, ou ainda, alimentar o cérebro do arquiteto com possibilidades que este não seria capaz de realizar por si mesmo. É onde aparecem os métodos que utilizam algoritmos genéticos,

gramática de formas, e identificação de emergências e ambigüidades. Tais possibilidades, até agora, não possuem aplicações comerciais e se restringem à pesquisa experimental e acadêmica.

Projetando-se um pouco para o futuro, percebe-se uma tendência para a digitalização não apenas do projeto, mas de todo o processo construtivo (Fig. 27). Levando isso ao extremo, pode-se vir a ter um processo totalmente mediado por computador, onde a transição para meios físicos de representação seria

dispensável (*paperless design*), uma vez que a execução se daria por meio de fabricação digital, de forma semelhante ao que já acontece na área do desenho industrial e da engenharia mecânica. Mais do que nunca, a utilização do computador na etapa conceitual seria indispensável e até obrigatória, uma vez que existe a possibilidade de se estar lidando com geometrias não euclidianas, do tipo curvas NURB's ou similares, possíveis de serem geradas e executadas somente por intermédio do computador.

Depreende-se destas considerações alguns postulados básicos de como o CAD pode se tornar um auxiliar efetivo na fase conceitual do projeto. Espera-se, portanto, que a tecnologia auxilie o arquiteto a:

- 1) **Conceituar, visualizar e perceber melhor.**
- 2) **Proporcionar inspiração e enriquecer o repertório.**
- 3) **Dar a confiança de ter explorado todas as alternativas.**
- 4) **Permitir explorar geometrias complexas.**
- 5) **Facilitar, ou até mesmo, permitir a exeqüibilidade do projeto.**
- 6) **Organizar e gerenciar pensamentos.**
- 7) **Comunicar e compartilhar informação.**

## 4. PROGRAMAS E INTERFACES

### 4.1 INTERAÇÃO HOMEM-COMPUTADOR (IHC)

Uma das questões levantadas sobre a dificuldade em utilizar programas CAD na fase conceitual do projeto diz respeito não apenas à limitação dos recursos dos programas, mas à forma como estes interagem com os usuários. A disciplina IHC, ou Interação Homem-Máquina é um ramo da computação que estuda a

relação usuário-computador e fornece interessantes subsídios para que se entendam as dificuldades em se lidar com esta máquina, principalmente no que se refere à representação de idéias visuais e gráficas. Trata-se de uma área multidisciplinar, pois é grande a diversidade de assuntos a serem tratados neste contexto. Barros (2003) enumera as principais áreas do conhecimento envolvidas na elaboração de IHCs (Fig. 28): a Psicologia Cognitiva, que se preocupa em entender processos mentais e o comportamento humano; a Psicologia Organizacional e Social que estuda a natureza e os propósitos do comportamento humano no meio social; a Ergonomia e Fatores Humanos, que objetivam conceber e produzir o projeto de várias ferramentas e artefatos adequados às necessidades do usuário; e a Ciência da Computação, que enfatiza sua contribuição, gerando conhecimentos sobre a tecnologia e demonstrando como explorar todo o seu potencial. Ainda segundo o autor, outras disciplinas vêm adquirindo significativa influência em IHC: a Inteligência Artificial que faz



Figura 28: Disciplinas relacionadas com IHC.  
Fonte: BARROS (2003)

parte da disciplina de Ciência da Computação e seu objetivo é o desenvolvimento de sistemas que gerem características associadas com a inteligência humana; a Linguística se baseia no estudo da linguagem, em que se procura facilitar as interações, explorando a linguagem natural na concepção de interfaces; a Engenharia utiliza conhecimentos científicos na produção de máquinas e, geralmente, a influência desta disciplina em IHC tem sido via Engenharia de Software; o Design, que é uma disciplina que tem evoluído consideravelmente em projetos de interfaces, oferecendo à IHC conhecimentos evidentes pelo grande envolvimento do design gráfico no desenvolvimento de sistemas interativos, e até mesmo a Filosofia, Sociologia e Antropologia, que objetivam analisar o resultado da interação de indivíduos com as máquinas, durante e depois da ação;

#### 4.1.1 Interface

O principal conceito nesta matéria diz respeito à idéia de INTERFACE. Silva (1999) salienta que este conceito, embora seja comumente relacionado com a computação, pode adquirir vários sentidos, tornando-se metáfora de qualquer coisa que precise de algo intermediário para se representar. A autora cita um livro como exemplo de interface, pois o mesmo utiliza diversos dispositivos – o tipo de papel, o formato, a tipografia, o estilo do autor – para transmitir determinadas informações ao leitor. *“Caso haja mudança em qualquer um desses dispositivos (ou interfaces), é possível que o leitor faça uma leitura diferente da estória. Livros para crianças possuem a tipografia maior, ilustrações coloridas e, algumas vezes, um formato não convencional. Por isso podemos saber que é um livro para crianças mesmo sem precisar ler a estória.”* (SILVA, 1999). De acordo com Levy (1994, apud Silva, 1999) *“[...]a interface é uma superfície de contato, de tradução, de articulação entre dois espaços, duas espécies, duas ordens de realidade diferentes: de um código para o outro, do analógico para o digital, do mecânico para o humano. Tudo aquilo que é tradução,*

*transformação, passagem, é da ordem da interface.*" A interface pode, portanto ser entendida mais amplamente como a representação da informação.

No caso da computação a interface tem por objetivo representar a linguagem da máquina e torná-la acessível aos seres humanos. O computador "pensa" através de pulsos elétricos por meio de um sistema binário onde os dados são formados de acordo com uma seqüência de zeros e uns (bit). O homem pensa por meio de palavras, imagens, conceitos, sensações e associações entres estas. Tornou-se necessário, portanto, tornar esta linguagem codificada compreensível aos sentidos humanos, fazendo possível a relação homem máquina.

Nos dias de hoje a noção de interface é comumente reduzida ao que se pode ver na tela do computador, mais precisamente os modos de interação com os programas representados pelos ícones gráficos, menus e formulários. Na verdade estes itens formam apenas um tipo de interface possível denominada Interface Gráfica, pois todos os dispositivos utilizados para efetuar qualquer tipo de entrada ou saída de dados ou informações, tais quais o teclado, os *drives*, o scanner e a impressora podem ser considerados tipos de interfaces. Silva (1999) realiza um breve histórico da evolução das interfaces em computação e demonstra que nem sempre foi tão fácil a comunicação com os computadores. A autora lembra que, em seus primórdios, o computador era destinado apenas aos programadores, que, portanto, utilizavam uma linguagem bem próxima à linguagem da máquina para comunicação. A proximidade entre máquina, no sentido físico, e homem era então bem maior. À medida que as interfaces evoluíram, o processo de processamento da informação passou a ficar cada vez mais distante do usuário que passou a se interessar simplesmente por seus resultados. *"Todas as interfaces, apesar de serem camadas que distanciam o usuário da linguagem básica do computador, proporcionam uma maior interação entre o homem e a*



*máquina, e, por isso mesmo, fazem parecer que as duas partes estão mais próximas. O papel da interface é justamente esse: desaparecer, ser invisível de modo a parecer que a interação entre os dois lados se faz da maneira mais transparente possível.” (SILVA, 1999).*

A interface gráfica é, portanto, a tentativa de espacializar a comunicação com o computador através do uso de metáforas e da utilização de dispositivos como o mouse e monitor. No Windows, por exemplo, estas metáforas representam uma mesa de trabalho, com pastas, lixeira, maleta etc. Segundo Turkle (1995, apud Silva 2000) o advento deste tipo de interface significa a passagem de uma cultura de cálculos (que representava a relação com o computador anteriormente) para uma cultura da simulação, e representa também um sintoma básico de nossa sociedade que passa da fase moderna para a contemporânea.

#### **4.1.2 O Fator Humano na Interface**

De acordo com Netto (2004), quando o conceito de interface começou a aparecer em computação, ele era entendido como o hardware e o software através dos quais um humano e um computador podiam se comunicar. *“Restritamente definida, a interface homem-computador compreende os dispositivos de entrada e saída e o software utilizado; amplamente definida, ela inclui tudo que se adapta às experiências dos usuários com computadores, incluindo a documentação, o treinamento e o suporte.” (MANDEL, 1995 apud RODRIGUES, 2002).* Hoje o conceito de interface evoluiu e inclui também aspectos relativos ao processamento perceptual, motor, viso-motor e cognitivo do usuário. *“A interface do usuário deve ser entendida como sendo a parte de um sistema computacional com a qual uma pessoa entra em contato física, perceptiva e conceitualmente.” (DE SOUSA ET. AL., 1999 apud RODRIGUES, 2002).* De fato, o usuário deve ser o centro das atenções na relação homem-computador, sendo assim, a preocupação com o estudo dos fatores humanos é tão importante quanto o estudo de novas tecnologias. Segundo Barros

(2003), dentre os fatores humanos a considerar, os itens que merecem maior destaque são: percepção humana, o nível de habilidade do usuário e o comportamento humano. *“Como o homem percebe o mundo através do sistema sensorio, o planejamento de uma interface deve considerar, principalmente, os sentidos: visual, tátil e auditivo. Porém estes elementos por si só não são suficientes, uma vez que cada usuário possui um nível de habilidade e personalidade singular. Estas características terão grande impacto na extração de informações significativas de uma interface e na resposta eficiente às tarefas solicitadas.”* (BARROS, 2003). Dentre os sentidos envolvidos no processo de comunicação com a máquina, a visão desempenha um papel fundamental, sendo a percepção visual um item de extrema importância quando se estuda a eficiência e amigabilidade de uma interface.

Além da necessidade de levar em conta as características sensoriais do usuário, também é importante definir o perfil deste no que se refere a outros aspectos, tais quais idade, sexo, capacidades físicas, educação, background cultural ou étnico, motivação, metas, personalidade e nível de experiência. Quanto a este último item, Barros (2003) salienta que os usuários podem ser classificados como:

**Usuários Participantes:** sem conhecimento sintático do sistema, ou seja, não possuem a mecânica de interação exigida para o uso eficiente da interface e conhecimento semântico do sistema insuficiente, que seria uma percepção subjacente da aplicação ou uso do computador em geral;

**Usuários Instruídos e Intermitentes:** conhecimento semântico da aplicação razoável, porém, com pouca lembrança das informações sintáticas para a utilização da interface;

**Usuários Instruídos e Frequentes:**

conhecimento semântico e sintático razoável, com isso, o usuário adquire domínio da execução na procura de atalhos e modos abreviados de interação.

Barros (2003) lembra ainda que "[...] Quanto mais experiente for o usuário, maior é a sua rejeição em executar as mesmas tarefas que os novatos executam, com isso, toda interface deve ser projetada para oferecer recursos mais avançados de interação, tais como atalhos para tarefas, entre outros. A velocidade com que cada usuário desenvolve seu aprendizado varia individualmente de usuário para usuário, e certamente com o passar do tempo se minimizam as diferenças."

| Propriedade                           | Conhecimento no mundo   | Conhecimento na cabeça   |
|---------------------------------------|---|--|
| Habilidade de recuperação             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Recuperável sempre que é visível ou audível.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Não é facilmente recuperável. Requer uma lembrança ou busca pela memória.</li> </ul>  |
| Aprendizado                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>O aprendizado é desnecessário. A interpretação da Informação depende de como o produto explora seus mapeamentos e restrições naturais.</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Requer aprendizado, o qual pode ser considerável. O aprendizado torna-se fácil se houver um significado na estrutura do material (ou se existir um bom modelo mental).</li> </ul> |
| Eficiência de uso                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Tende a ser diminuída pela necessidade do usuário ter de encontrar e interpretar a informação externa.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pode ser bastante eficiente.</li> </ul>   |
| Facilidade de uso ao primeiro contato | <ul style="list-style-type: none"> <li>Alta</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Baixa</li> </ul>  |
| Estética                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Pode ser desagradável ou deslegante, especialmente se existir a necessidade de manutenção de várias informações. No final, o apelo estético depende do talento do designer.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nada precisa estar visível. Este fato traz maior liberdade para o designer, que pode dar mais atenção para o tratamento estético.</li> </ul>                                      |

### Modelos Mentais

Rodrigues (2002) salienta que antes de se preocupar com os requisitos individuais de cada usuário, o designer de um sistema precisa conhecer os aspectos fundamentais da cognição humana comum a todos os usuários. Questões do tipo - Como a mente funciona? Qual o processo pelo qual se adquire conhecimento? Como pensamos, lembramos e aprendemos? - no âmbito da criação de interfaces centradas no usuário, constituem o campo de estudo da engenharia cognitiva.

Segundo Rodrigues (2002) O ser humano possui dois tipos de memória: a memória de curto termo (MCT) e a memória

Tabela 1: Comparação entre Modelos Mentais  
Fonte: Barros (2003)

de longo termo (MLT). Para as informações serem assimiladas, elas precisam ser captadas pelos sentidos. Mesmo quando não se presta atenção em algo específico, estes estão sempre prontos para receber diferentes tipos de mensagens. Se uma informação é transmitida dos sentidos para o cérebro, ela se armazena primeiramente na MCT, a qual possui pequena capacidade de armazenamento, pois guarda aproximadamente sete itens elementares de informação. Além de limitada, a MCT é rapidamente volátil, dissipando seu conteúdo em 30 segundos ou menos, por causa de lembranças da MLT ou distrações do mundo físico. Para prolongar o tempo de armazenamento de informações neste tipo de memória, são utilizadas as estratégias de repetição e agrupamento. Nem sempre o conteúdo da MCT passa para a MLT. Esta passagem também depende das estratégias citadas acima. A MLT possui grande capacidade de armazenamento, sendo praticamente ilimitada, mas o processo de aquisição e recuperação de informações não é confiável. Ou seja, o conhecimento pode ser retido por um longo período, mas o seu retorno da MLT para a MCT não é certo.

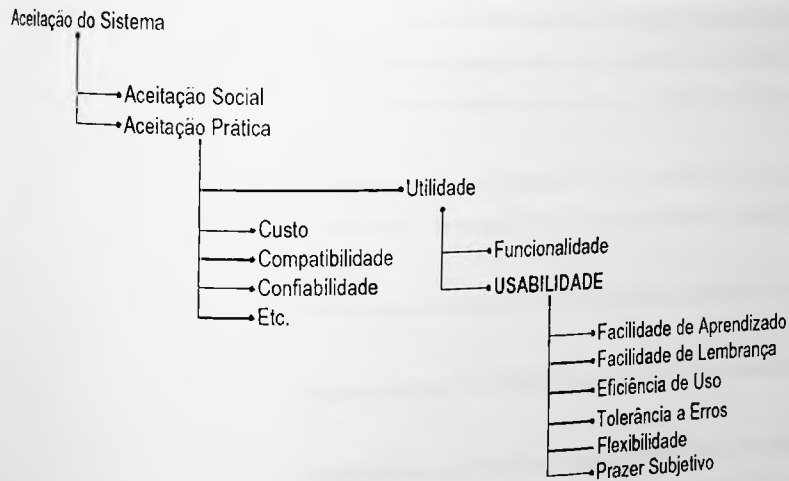
A tabela 1 mostra dois cenários possíveis para a construção da interface de um sistema. O primeiro não considera o conhecimento do usuário sobre a aplicação, pois as informações necessárias para a realização das tarefas estão disponíveis em sua própria interface (conhecimento no mundo). O uso da MCT é suficiente neste caso, caracterizando o perfil de usuários iniciantes. No segundo cenário a situação se inverte, exigindo que o usuário tenha um conhecimento prévio de uso residente em sua MLT (conhecimento na cabeça). Somente usuários experientes são capazes de lidar com interfaces pouco intuitivas.

Rodrigues (2002) coloca ainda que outro importante aspecto mental do ser humano se refere às suas atividades conscientes e inconscientes. Embora uma pessoa seja capaz de realizar um certo número de tarefas ao mesmo tempo, somente uma delas pode ser executada de forma consciente. Mas com a

repetição e a conseqüente formação de hábitos, os atos conscientes tornam-se inconscientes, permitindo o processamento paralelo. Entretanto, ao contrário do que se possa esperar, nem sempre este processo resulta em benefícios. Inúmeras falhas de interfaces estão associadas à dificuldade de se reverter hábitos adquiridos.

### 4.1.3 Eficiência de uma Interface

Segundo Rodrigues (2002), a aprovação integral das características de um sistema depende fundamentalmente de dois aspectos principais: o social e o prático (Fig. 29). O autor cita o exemplo de um



jogo de computador, que pode ser socialmente inaceitável se apresentar níveis elevados de violência para usuários infanto-juvenis. Um *site* fornecedor de serviços gratuitos na internet (*web-mail*, páginas pessoais, listas de discussão) também terá pouca aceitação se, no instante de cadastro, um elevado número de informações desnecessárias for exigido. O receio de uso destas informações por terceiros (mala direta, pesquisas de mercado) diminui o interesse dos usuários.

Ainda segundo Rodrigues (2002) além da aceitação social, existem também as questões

Fig. 29: Esquema demonstrando a aceitação de uma Interface  
Fonte: Rodrigues (2002)

correspondentes à aceitação prática. O custo, a compatibilidade, confiabilidade e estabilidade de um sistema são fatores essenciais neste quesito de aquiescência. A **utilidade**, por sua vez, determina o quanto um sistema está capacitado para que os usuários alcancem seus objetivos iniciais, dividindo-se entre **funcionalidade** e **usabilidade**. A primeira trata da escolha das funções necessárias para a realização das tarefas desejadas, e a segunda trata do modo de acesso das mesmas pelos usuários.

Considerando o aspecto de **usabilidade**, Barros (2003) reuniu a descrição de algumas características esperadas de uma Interface encontradas nos trabalhos de diferentes pesquisadores:

**Diversidade:** a interface deve suportar convenientemente a maioria das classes de usuários e ser capaz de identificar individualmente cada usuário e se adaptar a ele, desenvolvendo, interativamente, uma linguagem adequada à interação entre ela e o usuário em questão;

**Complacência:** a interface deve permitir que o usuário se recupere de situações de erro, bem como considerar a possibilidade de esquecimento de informações já apresentadas;

**Eficiência:** a interface deve minimizar o esforço gasto para executar uma tarefa;

**Conveniência:** a interface deve permitir fácil acesso a todas operações;

**Flexibilidade:** a interface deve prover várias maneiras do usuário efetuar uma dada operação. Um exemplo de flexibilidade desejável em um diálogo é permitir a entrada de comandos com formato livre;

**Consistência:** o comportamento e a apresentação física da interface devem ser guiados por regras definidas e conhecidas pelo usuário. O projetista deve se preocupar em: empregar sempre a mesma codificação; mostrar as mensagens de estado do sistema em local fixo; alocar itens de menu sempre na mesma posição relativa dentro de um menu; empregar caracteres de teclado sempre na mesma função; habilitar comandos globais como *help* e cancelamento de opções a qualquer momento. E aplicar comandos genéricos como: mover, copiar, remover a todos os objetos no sistema. Isso reduz o esforço de aprendizado, pois permite que o usuário desenvolva um modelo conceitual da interface;

**Prestimosidade:** a interface deve ser prestativa, fornecendo ajuda quando requisitada ou quando perceber que o usuário se encontra em dificuldades. A ajuda, na forma de mensagens de erro, conselhos, etc., deve ser clara e precisa, não conduzindo o usuário a situações embaraçosas, nem exigindo dele conhecimentos que ele não tenha ou não possa obter pelo próprio sistema. O usuário não deve necessitar de outros recursos, fora os oferecidos pela interface, para efetuar sua tarefa. Problemas devem ser notificados ao usuário tão logo sejam detectados e, se possível, antes que ocorram;

**Imitação:** a interface deve imitar o diálogo humano. Isto não significa necessariamente o uso de linguagem natural, mas sim, a exploração de aspectos da comunicação humana não orientados a comandos, tais como o uso de exemplos, explicações, analogias, comparações, descrições, etc;

**Naturalidade:** a interface deve se comunicar com o usuário de maneira natural, não exigindo o conhecimento de terminologia não referente à tarefa;

**Satisfação:** a interface deve satisfazer o usuário, não o frustrando. Ela não deve demorar na resposta, deve permitir que o usuário obtenha ajuda em qualquer ponto da interação;

**Passividade:** A interface deve assumir um papel passivo, permitindo que o usuário detenha o controle da interação.

#### 4.1.4 Estilos de Interface

As interfaces utilizadas na comunicação entre programa usuário se utilizam diferentes modos de operação. Segundo Raskin (2000, apud RODRIGUES, 2002) uma definição simples para modo de operação é o conceito de gesto, que por sua vez significa uma seqüência ininterrupta de ações humanas para a execução de uma tarefa. Por exemplo, um usuário experiente estará realizando um único gesto quando:

1. guiar o cursor em cima de um ícone;
2. selecioná-lo (pressionado o botão esquerdo do mouse);
3. arrastá-lo de uma pasta para outra;
4. deixá-lo (soltando o botão esquerdo do mouse).

Para um usuário iniciante, no entanto, cada uma das quatro operações isoladas também representará um gesto.

Barros (2003) e Rodrigues (2002) citam os principais estilos de interação, sendo que apenas os três primeiros podem ser considerados intrinsecamente gráficos:



- **WYSIWYG** (*what you see is what you get*): neste estilo, a representação com que o usuário interage nas telas de interface é basicamente a mesma que a imagem final criada pela aplicação. A maioria das aplicações gráficas interativas possuem algum componente nesta representação. Por exemplo, um editor de texto que imprime um caractere em negrito, também, o mostra neste mesmo formato no vídeo;
- **Representação Icônica**: representação icônica, os objetos, atributos ou relações, que podem ser operados, são representados de forma pictórica. Ícone é um símbolo caracterizado pela semelhança ou por analogia entre o símbolo escolhido e o que ele está representando. Este estilo de representação não está relacionado com a meta de manipulação direta, em que textos podem ser mais representativos que ícones, em certos casos;
- **Manipulação direta** - poderoso e fácil de aprender, este estilo apresenta relações, objetos e atributos que podem ser selecionados e operados com o auxílio de um mouse ou qualquer outro tipo de dispositivo de entrada gráfico (GID); as ações realizadas sobre os elementos visuais denotam comandos que são ativados implicitamente;
- **Seleção de menus**: em sistemas que usam seleção de menus, os usuários visualizam uma lista de itens, escolhem o mais apropriado para a tarefa desejada, e observam o efeito resultante. Uma das vantagens do uso de menus se refere à possibilidade que os usuários têm de trabalhar com a sua memória de reconhecimento, onde as imagens visuais são associadas a palavras e significados já conhecidos;

| Vantagens  | Desvantagens  |
|--|---|
| <b>Manipulação direta</b>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta visualmente os conceitos das tarefas.</li> <li>• Permite fácil aprendizado</li> <li>• Permite fácil retenção (memorização)</li> <li>• Permite que erros sejam evitados</li> <li>• Encoraja a exploração</li> <li>• Causa alta taxa de satisfação subjetiva</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pode ser de difícil programação.</li> <li>• Pode requerer dispositivos específicos para visualização</li> </ul>  |
| <b>Seleção de menus</b>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Encurta o aprendizado</li> <li>• Reduz o uso do teclado</li> <li>• Estrutura a tomada de decisão</li> <li>• Permite fácil tratamento de erros</li> <li>• Permite o uso de ferramentas para gerenciamento de diálogo.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta o perigo de muitos menus</li> <li>• Pode retardar os usuários experientes</li> <li>• Consome espaço na tela</li> <li>• Requer uma alta taxa de atualização do <i>display</i></li> </ul>                                    |
| <b>Preenchimento de formulários</b>  |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simplifica a entrada de dados</li> <li>• Requer pouco treinamento</li> <li>• Provê assistência adequada</li> <li>• Permite o uso de ferramentas para gerenciamento de formulários</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consome espaço na tela</li> </ul>  |
| <b>Linguagem de comandos</b>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• É flexível</li> <li>• Agrada aos usuários experientes</li> <li>• Suporta as iniciativas do usuário</li> <li>• Permite criação de macros</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui tratamento de erros precário</li> <li>• Requer treinamento substancial e memorização</li> </ul>   |
| <b>Linguagem Natural</b>   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alivia a carga de aprendizado de uma nova sintaxe</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Requer um diálogo claro e específico</li> <li>• Pode exigir um uso intensivo do teclado</li> <li>• Não mostra o contexto (o usuário pode não ter noção das capacidades e limitações do sistema)</li> <li>• É imprevisível</li> </ul> |

Tabela 2: Comparação entre Interfaces segundo Schneiderman (1998, apud Rodrigues, 2002)

• **Preenchimento de formulários:** quando é necessária a entrada de dados exatos em formato alfanumérico, o preenchimento de formulários representa a solução mais adequada; campos de texto são preenchidos pela movimentação de um cursor e com o auxílio de um teclado;

• **Linguagem de comandos:** anteriormente à era dos sistemas gráficos, este estilo constituía o caminho mais comum de interagir com computadores; para um usuário efetuar uma ação, deve ser digitado o comando que a representa e também os parâmetros de controle que determinam o seu comportamento.

• **Linguagem natural:** Interação via linguagem natural é definida como a operação de computadores por pessoas através do uso da linguagem que lhe é familiar.

Rodrigues (2002) apresenta uma tabela (tabela 2) (Schneiderman, 1998) demonstrando as vantagens e desvantagens do que o autor considera os cinco principais estilos de interação.

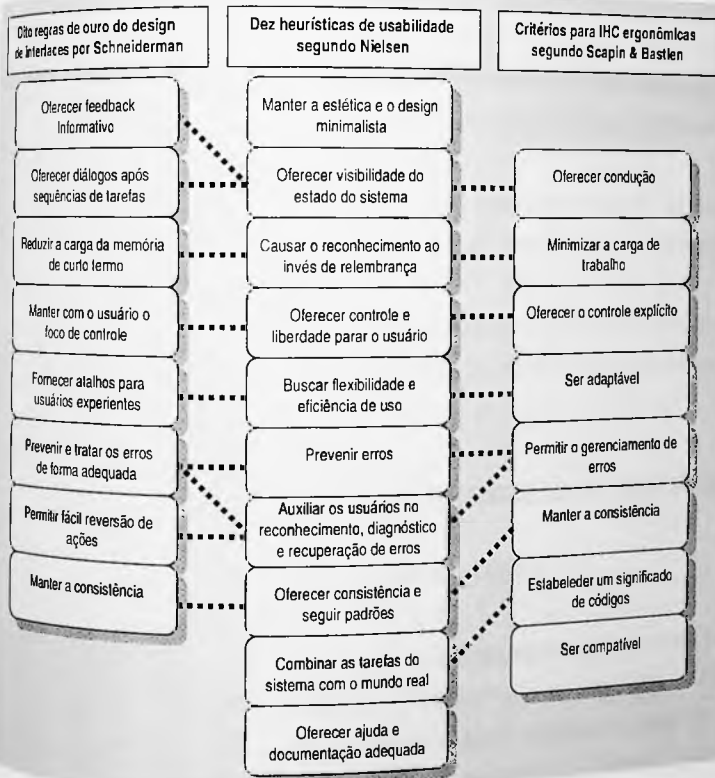
#### 4.1.5 Avaliação de Interfaces

Netto (2004) afirma que uma das etapas mais relevantes durante o processo de projeto (do software) é a avaliação da interface, porque é só por meio dela que é possível estimar as chances de sucesso ou insucesso, principalmente em termos de funcionalidade e de interação, das soluções encontradas e sugeridas pelo designer. De acordo com o autor, podem-se classificar as avaliações de interfaces como **formativas** ou **somativas**. *"Enquanto as avaliações formativas são realizadas durante o processo de desenvolvimento da interface, o que permite a identificação e correção de eventuais falhas de interação antes da conclusão do processo ou da implementação da aplicação, as avaliações de caráter somativo, por sua vez, só podem ser realizadas após a conclusão do processo de design (da interface)."* (NETTO, 2004)

Por sua vez Rodrigues (2002) afirma que existem várias maneiras de se avaliar a usabilidade em interfaces centradas no usuário, sendo que qualquer que seja o método utilizado, ele deve se enquadrar em uma dessas categorias:

- **Avaliação Heurística:** Embora este tipo de avaliação seja efetuado como parte do processo iterativo de design centrado no usuário, ele não exige a participação de usuários, mas de um conjunto de avaliadores, que examinam a interface e a julgam conforme os princípios de usabilidade denominados "heurísticas" (Fig. 30). Por mais experiente que seja, um avaliador isolado não é capaz de descobrir todos os problemas de usabilidade existentes numa interface. Além disso, diferentes pessoas podem encontrar diferentes problemas. Assim, justifica-se o envolvimento de múltiplos avaliadores como uma forma de se aumentar a eficiência deste método. Primeiro cada um deles examina a interface isoladamente. Após todas as

avaliações pessoais terem sido concluídas, eles se comunicam entre si. Trabalha-se desta forma para se garantir a imparcialidade e a independência dos resultados isolados.



• **Avaliação por testagem;** Segundo Rubin (1994, apud Rodrigues, 2002), a avaliação por testagem é uma ferramenta de pesquisa com raízes na metodologia experimental clássica. Alguns usuários são escolhidos para participar de tarefas, interagindo com a interface enquanto são observados por avaliadores em um laboratório de usabilidade. Idealmente, um laboratório desta categoria deve ser equipado com câmeras de vídeo, visando capturar as ações e reações dos usuários no processo de interação com o sistema, assim como os diferentes estados da interface. Espelhos falsos também são usados para se garantir a observação dos usuários de forma a minimizar a presença "intrusiva" dos avaliadores. Entretanto, para testes menos rigorosos ou de custo reduzido, não há necessidade de laboratórios tão sofisticados. Câmeras filmadoras convencionais, gravadores ou até mesmo papel e lápis podem ser utilizados para o registro dos acontecimentos.

Figura 30: Heurísticas utilizadas na avaliação de Interfaces  
Fonte: Rodrigues (2002)

- **Práticas alternativas ou complementares:**

Além dos métodos apresentados anteriormente, existem várias outras alternativas para a avaliação da usabilidade, como por exemplo:

- o uso de questionários é aplicado quando se deseja identificar o perfil de usuários e verificar o grau de satisfação subjetiva dos mesmos em relação à interface;
- as entrevistas, quando realizadas adequadamente, derivam mais informações que os questionários pois são observadas as reações físicas e emocionais dos usuários correspondentes às perguntas efetuadas;
- os relatos de usuários sobre a ocorrência de incidentes críticos também devem ser incentivados para se descobrir a frequência com que eles ocorrem, como eles podem ser evitados e solucionados.

## **4.2 A INTERFACE NOS SISTEMAS CAD E O PROCESSO CRIATIVO**

### **4.2.1 Desenho Digital**

A criação e manipulação de desenhos por meios digitais trazem consigo características e limitações próprias do instrumento que se utiliza. A área de trabalho que no desenho tradicional se limita ao tamanho do substrato (papel) utilizado, no desenho digital é virtualmente infinita. Desta forma, a capacidade de aproximação e afastamento oferecida pela máquina permite que se trabalhe simultaneamente tanto com elementos extremamente pequenos, como com estruturas de grandes tamanhos. Por outro lado, a visão

oferecida pelo computador é sempre fragmentada, dada às limitações de tamanho oferecidas pelo monitor. Portanto, enquanto no desenho tradicional tem-se sempre uma visão do conjunto e as relações entre os desenhos e suas respectivas escalas estão sempre claras e à mostra, no desenho digital estas relações deixam de existir, implicando numa perda parcial da noção de escala e numa grande dificuldade em se relacionar partes diferentes do desenho.

Outra diferença essencial diz respeito ao dispositivo utilizado para efetuar o "traço". Enquanto no desenho tradicional a conexão cérebro-mão-lápis-papel se dá de forma natural, no desenho digital a transição entre pensamento e programa necessita de outros intérpretes, sendo que esta transição pode ser efetuada de diversas formas. No entanto, desde a popularização dos PC's e da adoção generalizada da Interface Gráfica, o dispositivo mais difundido e utilizado para a manipulação dos programas CAD tem sido o *mouse*, dada a sua versatilidade em operar outras funções do computador e o seu custo reduzido. Trata-se, no entanto, de um instrumento não específico para o desenho, cujas características de funcionamento impõe limitações e dificuldades para a fluência do pensamento gráfico. Imagina-se que outros dispositivos que utilizem interfaces similares ao desenho tradicional, tais quais canetas digitais, possam efetuar esta transição de maneira mais eficiente.

Num sistema CAD, a relação entre o computador e seu usuário se dá basicamente em dois momentos. Para gerar a informação esperada, o computador necessita da entrada de dados, que serão processados e devolvidos em forma de informação útil. É, portanto, na entrada e na saída de dados que acontece esta relação, uma vez que o processamento acontece sem interferência humana. Para gerar uma linha, por exemplo, o programa precisa de alguns dados (as coordenadas de dois pontos, por exemplo). Podemos imaginar que estes dados podem ser informados textualmente (digitando as coordenadas no teclado),

graficamente (apontando diretamente na tela com o uso de um mouse ou uma caneta digital), ou ainda por voz (através de um software de reconhecimento de voz). O computador analisa os dados recebidos e processa a informação, retornando para o usuário de forma gráfica impressa (papel) ou gráfica visual (monitor). Menegotto (2000) também exemplifica uma situação rotineira de desenho: *“Para desenhar um círculo sobre uma folha de papel valendo-se de um compasso, apoiamos sua ponta determinando o centro da figura e a seguir procedemos com o traçado. Utilizando um programa gráfico podemos construir o círculo optando por várias estratégias: marcar um ponto A para definir o centro e outro ponto B para definir o raio; determinar que os pontos A e B sejam pontos extremos do diâmetro da circunferência ou ainda utilizar três linhas previamente desenhadas para posicionar o círculo tangente a elas.”*

Menegotto também salienta que, ao contrário do desenho manual, a representação gráfica digital pode ser realizada desenhando isoladamente as partes que constituem os objetos, e, utilizando-se posteriormente de transformações geométricas (translação, rotação, mudanças de escala e reflexões), pode-se unir e relacionar todas essas partes em um modelo único. Desta forma, o sucesso com sistemas digitais de desenho depende das transformações aplicadas durante o processo, e o estudo e planejamento das formas geométricas básicas, que serão reaproveitadas no futuro, é fundamental para o desenvolvimento de desenhos digitais.

No desenho manual, é o desenho quem dirige a ponta do lápis na direção certa, demonstrando com seu traço toda a perícia; no desenho digital, os comandos do programa respondem igualmente, seja quem for o operador. As linhas desenhadas são posteriormente materializadas por intermédio de um plotter ou impressora, que unificam o traço de todos os desenhos sem importar quem foi seu criador. A perícia com sistemas digitais não está relacionada com o traço, que é feito por uma máquina; está fortemente associada

à maneira de organizar seqüências de comandos e ao planejamento de uma estratégia prévia ao próprio ato de desenhar. (MENEGOTTO, 2000)

Outro importante ponto que se deve ter em mente é que ao desenhar com ferramentas digitais estamos lidando a todo momento com dois níveis de informação: **Informação Gráfica**, de natureza visual; e **Informação Alfanumérica**, presente em uma base de dados que permanece oculta. Dois desenhos visualmente idênticos podem, portanto, possuir uma estrutura completamente diferente. Esta base de dados implícita é organizada através de uma lista de informações organizadas em campos, sendo que cada elemento geométrico define um registro. Menegotto (2000) apresenta um exemplo do que seria a base de dados de um desenho com três círculos (tabela 3). Cada registro guarda a informação de um círculo composto de 5 campos:

| Número | Tipo    | Coord.<br>X do<br>centro | Coord.<br>Y do<br>centro | Raio |
|--------|---------|--------------------------|--------------------------|------|
| 1      | Círculo | 110.40                   | 234.20                   | 5    |
| 2      | Círculo | 120.45                   | 274.70                   | 15   |
| 3      | Círculo | 145.60                   | 264.80                   | 35   |

Tabela 3 - Base de dados de três círculos. Fonte: MENEGOTTO (2000)

Mudando o valor de uma das coordenadas do círculo 1, por exemplo, estaríamos mudando a posição do círculo no nosso desenho. Se quisermos aumentar em dez vezes o tamanho do círculo 2, por sua vez, bastaria multiplicar o campo Raio por 10, obtendo assim o novo desenho. Estas operações simples servem para exemplificar como se dá a alteração dos desenhos digitais, sendo que tais operações podem adquirir infinitas possibilidades e complexidades, o que vai depender da riqueza de comandos que cada programa ofereça.

Quanto ao gestual empregado, se levarmos em conta a forma como tradicionalmente é realizado o ato criativo em arquitetura, perceberemos diferenças essenciais no instrumental utilizado entre o processo convencional e o processo mediado por computador. Enquanto a ligação entre mente e mão é natural e



direta (neste caso o lápis ou outro elemento utilizado para esboçar funciona como uma extensão da mão), o desenho em computador implica o uso de elementos intermediários estranhos a este processo. Betty Edwards (2001) explorou a relação entre desenho e cérebro e a relação entre criatividade e hemisfério cerebral direito. Seu método consiste em libertar o desenhista dos simbolismos impregnados na mente, frutos do pensamento cartesiano e da racionalidade imposta pelo hemisfério cerebral esquerdo. Ao ser solicitado a desenhar uma pessoa, por exemplo, a tendência inicial é fazê-lo da forma mais rápida possível, o que só pode ser conseguido através do uso de simbologia. O desenho detalhado, com todas as nuances e sombras exige desprendimento do tempo e uma capacidade de observar pessoas e objetos como estão são em termos de luz, cor e textura, esquecendo os elementos simbólicos a que estas se associam. Podemos então enquadrar os desenhos arquitetônicos esquemáticos, os diagramas, organogramas e fluxogramas, na primeira categoria. São desenhos sintéticos, carregados de símbolos, que tem como objetivo expressar uma idéia da forma mais eficiente e em menos tempo possível. Podemos supor, portanto, que são comandados mais pela racionalidade do lado esquerdo do cérebro. Os croquis e ilustrações, embora possam ser executados rapidamente pelo arquiteto bem treinado, normalmente requerem mais tempo e uma necessidade maior de observação e reflexão. Se enquadram bem portanto na segunda categoria de desenhos, e são supostamente comandados pelo lado direito cerebral.

O processo criativo necessita dos dois pensamentos para ser desenvolvido. Ao analisarmos historicamente as interfaces comumente oferecidas pelos programas CAD, vimos que no início não havia sequer uma saída gráfica visual. As instruções eram passadas por meio de comandos e a saída era feita exclusivamente por números ou por impressões rudimentares. Os programas utilizados comumente hoje nos escritórios utilizam uma interface dual: gráfica e de texto. As instruções para geração dos desenhos são geralmente mediadas por inserção de comandos escritos pelo teclado e através do uso do mouse, clicando em ícones e menus. O

input de elementos gráficos também se dá normalmente pelo uso do mouse na tela. Empresas maiores possuem mesas digitalizadoras que facilitam a digitalização de desenhos já existentes. Versões modernas destes equipamentos permitem inclusive a digitalização de objetos tridimensionais.

A despeito do avanço dos equipamentos de entrada e saída de dados, a Interface dos programas CAD ainda se mostra bastante inadequada para a fluência do processo criativo se comparada ao processo analógico tradicional. A relação cérebro mouse não acontece de forma natural, e a necessidade de entrada de comandos e valores exatos inibe o desenrolar do pensamento criativo, pois o amarra a condicionantes por demais racionais.

**O pensamento criativo exige: desprendimento do tempo, inexatidão, ambigüidade, imaginação.**

**A interface dos programas exige: rapidez, precisão, univocidade, racionalidade.**

Emerge, portanto, um duelo entre os dois hemisférios cerebrais que impede o arquiteto de explorar de forma totalmente criativa os recursos do computador. É uma premissa, portanto, que para torna-se mais adequada a este processo, os programas necessitam adequar suas interfaces ao modo de trabalho do arquiteto, e não o contrário, como vem acontecendo.

Embora interfaces mais adequadas ao gestual do desenho estejam ainda distante de ganhar versões comerciais, pesquisas interessantes tem sido feitas no sentido de explorar novos equipamentos que façam melhor a ponte entre cérebro e computador. Pradini (1999) afirma:

Dispositivos como o mouse, o teclado ou um tablet (mesa digitalizadora) são os mais comumente utilizados para movimentar o cursor, escolher um menu, selecionar objetos e mesmo interagir com os mundos virtuais na atual geração de interfaces bidimensionais. Nessas interfaces, esses são dispositivos pontuais que não respondem às crescentes necessidades de interação em três dimensões dos atuais recursos da computação gráfica e da realidade virtual. Frente à necessidade de dispositivos de entrada de dados e interação em reais três dimensões, a utilização de dispositivos apontadores como o mouse equivale, grosseiramente, à utilização de palitos chineses para interagir com o mundo real. Esta é uma forma de interação possível, mas certamente não a mais adequada, tendo em vista a riqueza de possibilidades de interação e manipulação possível com os movimentos dos dedos e das mãos.

Um dos caminhos apontados por Prati para criar uma interface mais adequada tem sido estudar formas de se comunicar com os computadores diretamente com as mãos, sem as limitações dos dispositivos intermediários. Neste sentido, pesquisas têm sido feitas para o desenvolvimento de luvas instrumentadas, com sensores que permitem identificar a posição e formação da mão.

Esta interface se baseia no fato de que gestos ou movimentos com as mãos são usados de diversas formas em associação com a linguagem falada para enfatizar o discurso, demonstrar emoções e auxiliar e reforçar a comunicação. Os gestos utilizados na descrição dos objetos são classificados como icônicos, que segundo MCNEILL (apud PRATINI, 1999), são gestos miméticos, representacionais, que dizem respeito a um objeto concreto e mantêm uma relação formal com aquilo que está sendo dito. Segundo Prati (1999):

Gestos icônicos podem ser encontrados na descrição de como uma ação deve ser efetivada: a fala "Aperte o gatilho mirando para o alvo", acompanhada do gesto com o indicador, a mão fechada e o braço esticado

para a frente; ou nas características de uma ação – “Segure o tubo com a mão esquerda e encha-o...” acompanhado da formação da mão esquerda como um cilindro; ou na forma ou volume de um objeto – “...tem uma forma esférica, com mais ou menos este tamanho”, acompanhado das mão formando uma esfera e logo afastando-se para dar a idéia das dimensões do objeto.

Gross & Do (1997) também abordam a questão enfatizando que as aplicações CAD atuais são o produto de anos de pesquisa que se iniciaram nos anos 60 e 70, e que, embora tenham encontrado um vasto campo de uso no campo do projeto arquitetônico, estas aplicações representam apenas os primeiros frutos da pesquisa em projeto auxiliado por computador, as mais óbvias e fáceis possibilidades derivadas da tecnologia da informação, e que muitos dos mais eficientes avanços ainda estão por vir. Os autores enfatizam ao papel das universidades, em especial o papel das escolas de arquitetura no desenvolvimento de pesquisas de longo prazo, uma vez que as indústrias do software somente desenvolvem pesquisas que tenham retorno garantido, dentro de um prazo muito curto. Do e Gross (2000) identificam três áreas que consideram as mais importantes e promissoras dentro desta pesquisa: **(1) Interação homem-computador;** **(2) ambientes de projeto colaborativo** ; **(3) tecnologia de realidade virtual**. Em IHC os autores enfatizam os recentes avanços no desenvolvimento de *hardware*, como o barateamento dos monitores LCD sensíveis ao toque e os mouses e canetas digitais sem fio e ainda o desenvolvimento da tecnologia de reconhecimento dos programas. Estes avanços possibilitam o desenvolvimento de novas e mais eficientes interfaces, tais quais a interação através de canetas digitais, interação por voz e gestos, e ambientes virtuais imersivos. Como demonstrado no capítulo 2, algumas destas aplicações já foram desenvolvidas e testadas em ambientes acadêmicos, mas ainda carecem de aplicações comerciais verdadeiramente eficientes.

### 4.3 FERRAMENTAS CAD

Os tipos de ferramentas CAD existentes podem agrupados segundo alguns critérios que levam em conta diferentes características destes sistemas. Pode-se levar em conta, por exemplo, a que finalidade é destinado o programa. Neste caso teremos programas mais específicos para projeto Mecânico (Solidworks, Mechanical Desktop), para o Desenho Industrial (Rhinceros), para Arquitetura (Archicad, Microstation) ou ainda pacotes genéricos que podem ser utilizados para qualquer fim (Autocad). Pode-se ainda pensar no tipo de operação capaz de ser realizada pelo programa. Teremos, como exemplo, ferramentas utilizadas puramente para a representação da forma (3D Studio) ou softwares capazes de realizar análises e simulações (Radiance).

Quanto aos pacotes destinados ao projeto arquitetônico, Duarte (2000) apresenta a classificação utilizada por Sainz (1992) que agrupa os programas de acordo com a maneira e o tipo de modelo que este é capaz de gerar. Segundo esta classificação, os modelos gerados pelos softwares podem ser bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D), sendo que se pode caminhar do bidimensional para o tridimensional (2D + 3D) ou do tridimensional para o bidimensional (3D + 2D). A maioria dos programas CAD disponíveis hoje no mercado apresentam algum tipo de recurso para desenho em três dimensões, sendo raros os que se atém puramente ao desenho em duas dimensões. Mas seja em programas puramente 2D ou em programas 2D+3D, a maneira tradicional de construção dos desenhos bidimensionais não contempla nenhuma interação entre plantas, cortes e fachadas. Estes desenhos são tratados isoladamente, e qualquer alteração efetuada em um deles deve ser manualmente incluída nos desenhos correspondentes. Os programas 2D+3D permitem a geração de volumetrias a partir da geometria bidimensional, ou a partir da construção de

primitivas gráficas tridimensionais. Estes modelos 3D, no entanto, não possuem nenhum nível de "inteligência" e interação entre as plantas e cortes. Não são capazes, portanto, de refletir automaticamente alterações efetuadas no projeto em nível bidimensional.<sup>11</sup> Tanto os programas puramente 2D quanto os 2D+3D são muito pouco adequados para as fases iniciais do projeto arquitetônico, uma vez que não permitem uma exploração rápida da forma e suas interfaces exigem um nível de precisão conflitante com o processo criativo.

Os programas classificados como 3D puros oferecem recursos de modelagem tridimensional que podem ser utilizados desde o início do processo de projeto. Muitas vezes também permitem a importação de geometria 2D de outros programas para que a partir desta sejam geradas volumetrias. Estes programas, no entanto, também não apresentam ferramentas inteligentes que reconheçam os elementos como objetos arquitetônicos e são igualmente incapazes de efetuar correlação entre os desenhos. São, portanto, adequados para explorações muito iniciais ou para apresentações finais, mas não se mostram eficientes no desenvolvimento do projeto.

Os programas classificados como 3D+2D revelam uma evolução significativa com relação aos anteriores, uma vez que passam a oferecer um certo grau de inteligência na manipulação dos desenhos. Neste tipo de programa o modelo representa fielmente o que virá a ser o resultado final da construção, sendo possível extrair deste outras informações relevantes para a execução do mesmo, como o quantitativo de materiais e equipamentos. Os elementos são entendidos como objetos arquitetônicos, e como tal constituídos de propriedades específicas, num processo denominado parametrização. (ver capítulo 2). A documentação 2D

---

<sup>11</sup> Enquadra-se neste tipo de programa o Autodesk AutoCAD.

pode ser extraída diretamente do modelo tridimensional, sendo correlacionada a este de forma simultânea, de forma a apresentar quaisquer alterações que neste forem efetuadas. São especialmente apropriados para o desenvolvimento de projetos colaborativos, uma vez que as diversas informações sobre o projeto são atualizadas constantemente, permitindo a interação entre vários profissionais. Embora muito eficiente no desenvolvimento do projeto e no auxílio à sua execução, se mostram ainda inadequados às primeiras fases do projeto, uma vez que também exigem um grau de precisão e decisão sobre os elementos arquitetônicos que conflitua com a flexibilidade exigida pelo processo criativo.

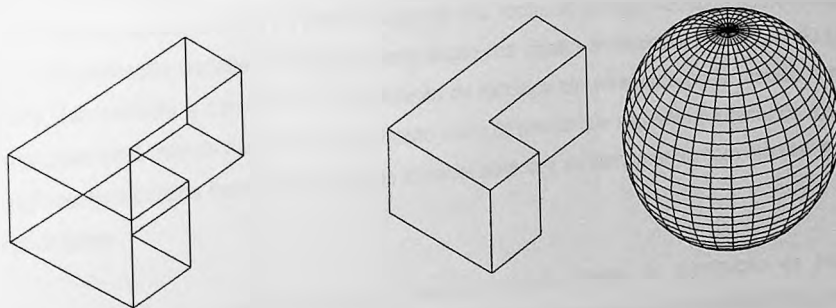


Fig. 31: Modelagem em *wireframe* e por superfície.

### 4.3.1 Geração da Forma em Programas CAD

Existem três sistemas básicos de criação de formas tridimensionais utilizados pelos programas CAD (Fig. 31):

- A malha de arame (*wireframe*)
- Modelamento de superfícies
- Modelamento de sólidos

O modelo em **wireframe** representa espacialmente os objetos através das arestas que os definem, sejam estas linhas, arcos, círculos ou linhas poligonais. Por conter informação reduzida sobre o modelo, este tipo de representação permite uma rápida manipulação dos objetos tridimensionais, ocupando pouca memória física. No entanto a construção e visualização de modelos em *wireframe* pode resultar em visualizações ambíguas pelo fato de não possuir informação sobre os planos que separam o interior do exterior do objeto, exigindo redobradas habilidades de visão espacial para que se compreenda com clareza a real volumetria dos objetos.

A **modelagem por superfície** define o corpo do objeto através da construção de pequenos planos adjacentes que em conjunto definirão o volume do modelo. Um cubo, por exemplo, necessitará de apenas seis planos correspondentes à cada face para representar sua superfície. Formas curvas, no entanto, serão subdivididas em uma determinada quantidade destes pequenos planos de forma a se obter uma aproximação de sua superfície. A quantidade de planos utilizados pode ser controlado, e sua determinação vai depender do grau de aproximação que se deseja obter, bem como da capacidade do equipamento em



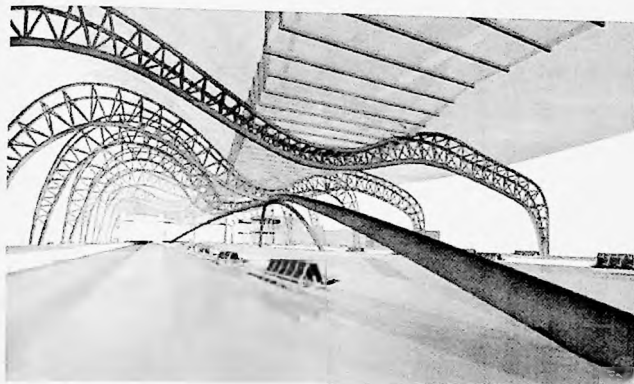


Figura 32: Exemplo de Utilização de curvas NURB's em um projeto arquitetônico.

manipular extensas informações, uma vez que quanto maior o número destes planos, mais complexo se torna o modelo. A modelagem por superfície permite aplicar sobre os modelos cálculos de: remoção de linhas ocultas (oculta os planos posteriores); Sombreamento (simulação de iluminação); Mapeamento de texturas (simulação de material aplicado). Mais recentemente alguns sistemas CAD introduziram a possibilidade do modelamento de superfícies através de Curvas NURB (*NonUniform Rational B-spline*). Este tipo de superfície baseada num modelo matemático preciso permite a construção de curvas complexas que não precisam se ater aos elementos da geometria euclidiana. (fig. 28) Empregado primeiramente no Desenho Industrial, este tipo de modelagem começa a ser utilizado em Arquitetura em virtude da recente introdução de maquinário CNC (*Computer Numerically Controlled* – Máquina de Controle Numérico) que permite a fabricação computadorizada de elementos arquitetônicos concebidos por esta técnica (Fig. 32). Em geral, embora a modelagem por superfície se mostre adequada para a exploração de propriedades espaciais e visuais dos objetos, este tipo de modelagem é limitado no que se refere à simulação de outras propriedades, tais quais peso, densidade, resistência e condutividade do calor, por não guardar informações sobre as propriedades físicas dos objetos.

Por sua vez, a **modelagem sólida** permite que a informação geométrica dos objetos seja armazenada de forma mais completa e que por conseguinte as características físicas destes possam ser analisadas. Este tipo de modelagem já é amplamente utilizada no Desenho Industrial e na Engenharia Mecânica. O projeto de um componente de uma máquina, por exemplo, pode ser iniciado e desenvolvido sobre um modelo

sólido, do qual poderá ser extraído um protótipo físico através de uma máquina de prototipagem rápida e mais tarde poderá ser fabricado digital por uma máquina de controle numérico (CNC). A composição de modelos por meio de modelagem sólida é geralmente feita através da combinação de primitivas (sólidos básicos) utilizando as chamadas operações booleanas de união, subtração e interseção para a construção de volumetrias mais complexas. (Fig. 33)

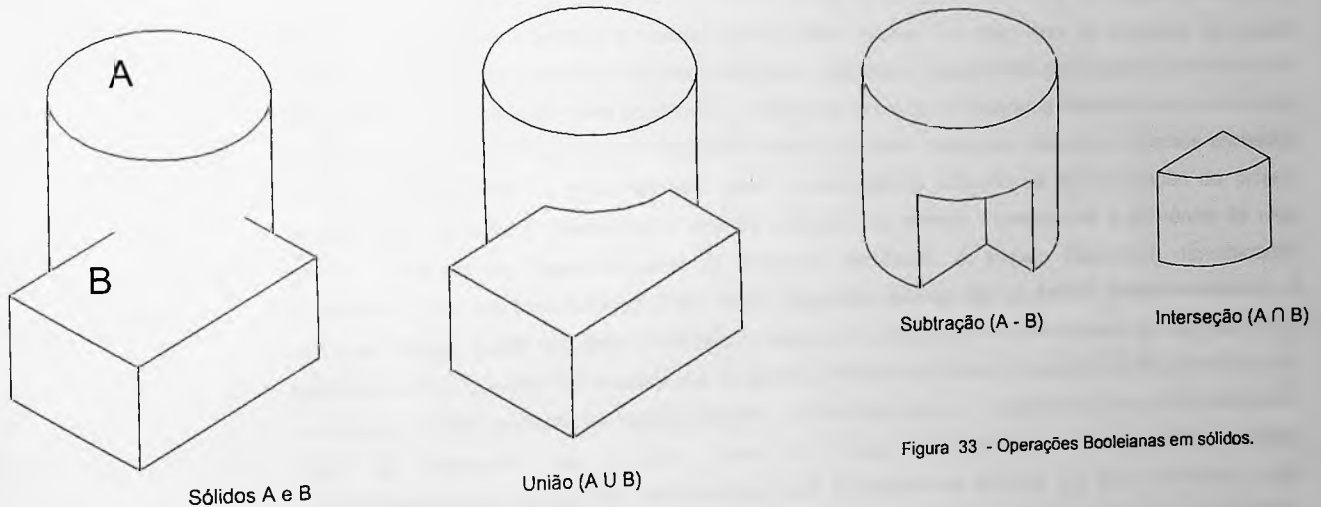


Figura 33 - Operações Booleanas em sólidos.

### 4.3.2 CAD Conceitual

Observamos até agora a existência de um certo vácuo entre a fase inicial do processo de projeto e o seu desenvolvimento, no que tange à existência de ferramentas adequadas para a criação das primeiras idéias e a transição destas para as fases posteriores. Os programas que permitem uma rápida exploração da forma são pouco específico para arquitetura e não permitem que a volumetria gerada seja aproveitada e desenvolvida. Os programas que oferecem bons recursos para o desenvolvimento do projeto, por sua vez, são inadequados para a geração e manipulação de idéias iniciais. Por outro lado, as tentativas de criação de ferramentas que se aproximem do processo criativo tradicional do arquiteto por enquanto se restringem a projetos experimentais em nível acadêmico. Observa-se ainda que o programa instituído como padrão de mercado se mostra inadequado para as fases iniciais do projeto, tampouco apresenta recursos eficientes para o desenvolvimento e gerenciamento deste, sendo apenas utilizado na representação do projeto arquitetônico. Durante o desenvolvimento desta pesquisa, no entanto, constatou-se a existência de uma recente tendência ao desenvolvimento de softwares dedicados ao projeto conceitual, denominados *Conceptual CAD*, ou *Sketch-based CAD*. Nesta categoria pode-se citar o *Artifice Design Workshop*, o *Autodesk Design Studio* e o *Atlast Sketchup*. Todos estes programas se caracterizam por oferecer uma interface simples que procura se aproximar do esboço realizado em papel. Enquanto os dois primeiros não encontraram muita aceitação no meio profissional, o SketchUp vem se configurando como uma alternativa viável na elaboração das primeiras idéias do projeto arquitetônico. Empregando recursos surpreendentemente simples em sua interface, mas extremamente eficiente em seus resultados, este programa oferece a possibilidade da exploração inicial de idéias tridimensionais, através de uma interface que se aproxima do gestual tradicional de desenho, facilitada e incrementada pelos recursos que o computador pode oferecer. O programa permite ainda que as primeiras e imprecisas volumetrias adquiram

precisão gradativamente, tornando possível a transição e desenvolvimento destas idéias para as fases posteriores do projeto.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DE INTERFACES EM PROGRAMAS CAD

A avaliação de Interfaces de programas, sejam estes voltados para o projeto arquitetônico ou não, tem sido uma atividade corriqueira e tal processo já conta com uma sistemática bem estabelecida, como vista no capítulo anterior. De fato, quando o que está sendo avaliado é a simples realização de uma tarefa com o auxílio do computador, torna-se relativamente fácil mensurar se a Interface do programa em questão é ou não adequada para a realização desta tarefa de forma eficiente. No caso de nossa pesquisa a "eficiência" em questão vai além de realizar tarefas específicas com o auxílio do computador. Nossa tentativa é realizar uma análise do grau de adequação de determinadas ferramentas CAD ao processo criativo envolvido no projeto arquitetônico. Neste sentido esta tarefa mostra-se particularmente difícil, na medida em que a metodologia estabelecida para a avaliação de Interfaces não contempla análises com este grau de subjetividade, e não há muitos relatos de outras pesquisas realizadas com este objetivo.

De fato, experiências anteriores voltadas para a avaliação de ferramentas CAD consideraram aspectos meramente quantitativos. De Lucca (1999) menciona o evento realizado no exterior denominado *Designers 3d Cad Shootout For Architectural Cad Systems*, que teve o objetivo de avaliar e comparar a facilidade e rapidez com que diferentes sistemas CAD disponíveis no mercado são capazes de realizar tarefas pré-definidas, distribuídas por diferentes categorias: planta baixa; cortes e elevações; perspectivas coloridas; renderizações; animações; modelagem 3D; construção de detalhes 2D; projeto completo; colaboração em rede; utilidade; facilidade de usar; funções paramétricas para arquitetos; modelagem inteligente.

Um tentativa de abordagem mais qualitativa foi realizada por Senagala (2003) que, baseado na teoria deconstrutivista, realizou uma análise mais aprofundada do reflexo do uso do Autocad no projeto arquitetônico, demonstrando que muitos elementos presentes em sua interface na verdade desconstróem e subvertem o processo de projeto e em última instância desabilitam as possibilidades do processo criativo acontecer de forma eficiente. O autor abordou a questão enfocando o que chamou de "oposições binárias" relativas aos seguintes elementos:

**Em escala / Sem escala;**

**2D / 3D;**

**Desenho / Escrita;**

**Análogo / Digital**

**Ordem / Desordem**

**Ambigüidade / Precisão**

A análise que passaremos a realizar consiste de uma avaliação heurística da Interface de dois programas distintos que se baseia em parte no modelo apresentado por Senagala. Os programas avaliados escolhidos são o Autodesk Autocad 2000 e o Atlast SketchUp 4.0. Esta escolha foi baseada nas seguintes razões:

- Trata-se de dois programas que possuem diferenças significativas em suas Interfaces e abordagens igualmente diferentes em seus conceitos básicos. O AutoCAD 2000, programa que se enquadra na categoria de programas 2D+3D, se apresenta como uma versão do software de uso já bastante difundido, com uma participação já consolidada nos meios profissionais e acadêmicos. O SketchUp se apresenta

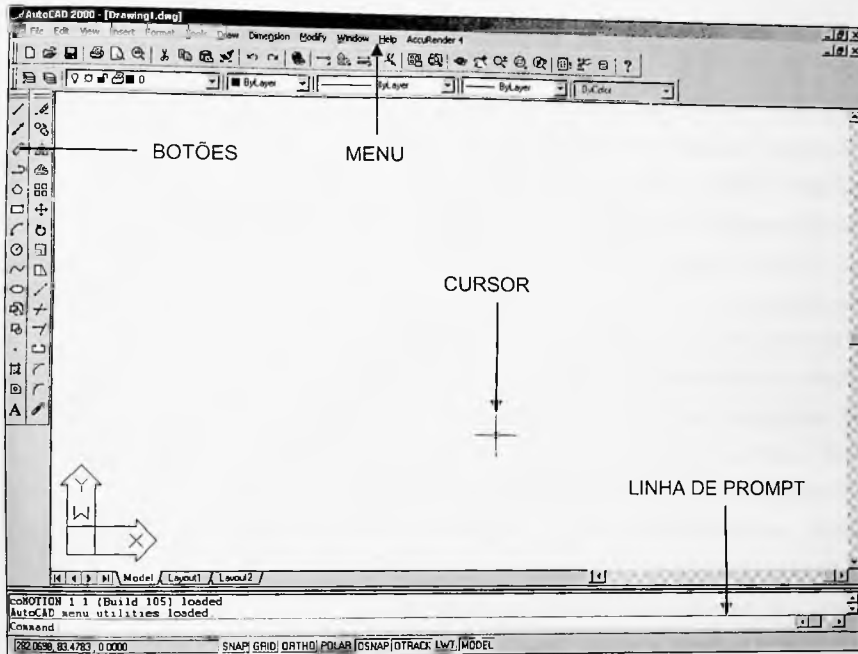


Fig. 34 - A Interface do Autodesk AutoCAD 2000

como um dos recentes programas destinados ao desenho conceitual, que pode ser enquadrado também como um programa 3D+2D, e que vem gradativamente ganhando aceitação tanto no meio profissional como acadêmico.

- A experiência pessoal do autor no manejo dos dois softwares, tanto em atividades profissionais como em atividades docentes.

- A possibilidade de aplicação imediata e aceitação da pesquisa por parte da comunidade acadêmica, por se tratarem de dois softwares de fácil acesso. O Autodesk AutoCAD já se encontra presente na maioria dos cursos de graduação em Arquitetura e Urbanismo,

enquanto o Atlas Sketchup está facilmente disponível na Internet e conta com um programa educacional que prevê cópias gratuitas para estudantes e professores e licenças especiais para uso em laboratórios.

#### 4.4.1 A Interface do AutoCAD

O AutoCAD é um dos programas do tipo CADD (*Computer Aided Design and Drafting*) mais difundidos do mercado. Lançado no início da década de oitenta, o programa rapidamente se popularizou entre arquitetos e engenheiros. Segundo Menegotto (2000), dois fatores contribuíram para o sucesso de sua difusão. O primeiro dele foi o fato de ser uma ferramenta de desenho genérica que captou a atenção de profissionais projetistas com exigências de desenho diversas. O segundo motivo foi a possibilidade de adaptação que ofereceu a seus usuários para que pudessem personalizá-lo. O programa permitiu que se criassem comandos específicos, fazendo surgir uma série de aplicativos especializados que ampliaram seu potencial inicial. Surgiram, desta forma, aplicativos para arquitetura e para as diferentes áreas da Engenharia. Esta "customização" depende, no entanto, do domínio de linguagens de programação embutida no programa (Autolisp, VBA), tornando esta tarefa restrita a profissionais com boas noções de programação. Para o usuário comum, restou a possibilidade de se utilizar apenas os comandos originais ou utilizar aplicativos de terceiros. Apesar de mais de duas décadas de existência e de contar com o lançamento de inúmeras versões, até a versão 2004 a interface do programa pouco evoluiu. (Fig. 34) Apesar de propiciar diversos tipos de Interface, entre as quais baseado em ícones e menus, o principal canal de comunicação entre o operador e o programa continua sendo a linha de prompt, também conhecida como linha de comandos. A palavra *Command:* na linha de prompt nos permite o ingresso de uma ordem, ou seja, um comando, digitando o seu nome por extenso no teclado ou, se houver, sua abreviação. Ativando os comandos desta maneira, o usuário é guiado por uma série de opções que nos possibilitam escolher a operação que queremos efetuar dentro do comando escolhido. Estas opções são separadas por uma barra "/" e são ativadas digitando a letra ou as letras destacadas em maiúsculas. A seguir um exemplo típico de comunicação com a linha de prompt:

**Command: ZOOM**

Specify corner of window, enter a scale factor (nX or nXP), or  
[All/Center/Dynamic/Extents/Previous/Scale/Window] <real time>: e

Em negrito estão as opções que cabe ao operador. Após digitarmos o comando, ou a opção de comando, devemos pressionar a tecla Enter ou o botão direito do mouse. Todo valor contido entre os símbolos "< >" é considerado válido, caso não tenhamos definido algum outro. Neste exemplo foi emitido o comando ZOOM que permite aproximar ou afastar o ponto de vista do usuário. Dentre as opções apresentadas foi escolhida

a letra E que corresponde à opção Extents, que ajusta o zoom para mostrar todo o conteúdo da área de desenho.

Este tipo de Interface se mostra muito eficiente e rápida em indivíduos bem treinados e com algum tempo de experiência, principalmente para a rápida confecção da documentação técnica relativa ao projeto. No entanto, para usuários iniciantes, este estilo de interação se mostra difícil, pouco amigável e muitas vezes obscuro. O fato de precisar utilizar o teclado também desvia a atenção do desenho e impede o fluxo normal do pensamento característico do processo criativo, se mostrando um obstáculo na tentativa de utilizar o programa nas primeiras fases do projeto arquitetônico.

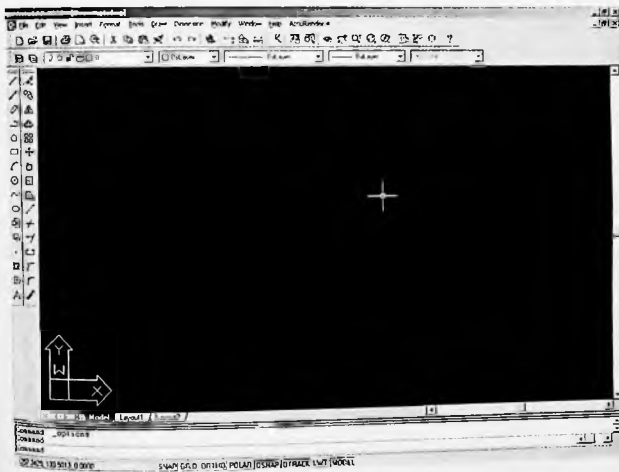


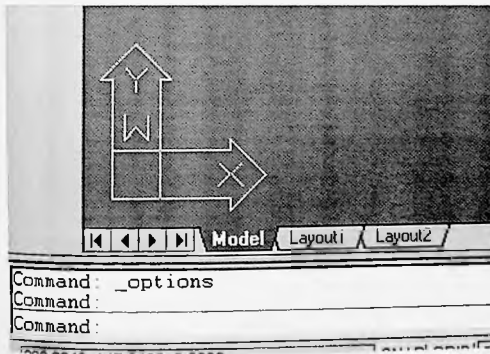
Fig. 35: A tela inicial do AutoCAD.



#### 4.4.1.1 Escala

O processo tradicional de desenho e esboço envolve o uso de papel branco, uma escala e lápis ou canetas para desenhar. Ao se deparar com a tela geralmente preta do Autocad, o usuário também se depara com algumas perguntas: Qual a extensão do espaço de trabalho? Em que escala se está trabalhando? Qual a unidade de medida? Para que plano estamos olhando? Qual sua profundidade e suas fronteiras? Desta forma, o programa ignora a noção de escala, tão essencial para o pensamento arquitetônico. (Fig. 35)

De fato, em usuários iniciantes constata-se uma grande dificuldade em perceber as proporções dos elementos desenhados, e muitas vezes, confundem o fator de *zoom* com redimensionamento dos objetos. Outra dificuldade diz respeito ao se iniciar o desenho sem a noção exata de fator de *zoom* está sendo utilizado. É comum que os alunos “percam” os desenhos ou achem que sua dimensão está errada por se mostrarem demasiadamente pequenos ou grandes na tela.



#### 4.4.1.2 2D / 3D

Sendo o AutoCAD um programa do tipo vetorial, a geometria que desenharmos será definida por meio de coordenadas (X,Y,Z), distâncias e ângulos. O sistema de coordenadas do Autocad trabalha com os chamados Sistema de Coordenadas Global (WCS) (Fig. 36) e Sistema de Coordenadas do Usuário (UCS). Os eixos são indicados pelo ícone mostrado na figura. A situação padrão sempre mostra o plano XY, como numa vista de topo. Para visualizarmos o eixo Z é preciso mudar o ponto de vista do usuário. Muitas opções são oferecidas para a realização desta tarefa, entre elas

Figura 36: O ícone WCS.

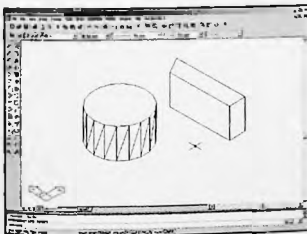
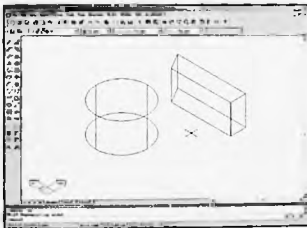
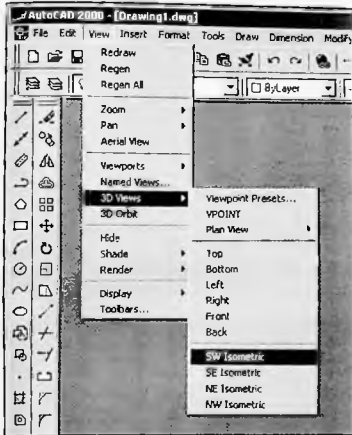
escolher pontos de vista pré-configurados que mostrarão vistas ortogonais ou em perspectiva isométrica através do menu View. (Fig. 37)

Uma vez escolhida o ponto de vista, a situação muda, sendo possível visualizar as três coordenadas e os elementos tridimensionais presentes na cena. Tais elementos são exibidos como construções aramadas (wireframe) e é preciso a utilização de outros comandos para que as faces se tornem opacas., tais quais o comando *Hide*. Quando isto acontece, as superfícies curvas se mostram segmentadas, uma vez que estas são construídas através de justaposição de elementos retilíneos.

### Planos de Desenho

Embora seja possível visualizar os três eixos, o plano de desenho continua sendo o plano XY. Caso o usuário necessite trabalhar em um plano vertical, como uma parede, por exemplo, este deverá mudar a orientação dos eixos de forma que estes se alinhem com a posição da face onde se trabalhará, e assim para cada plano de desenho que precisar utilizar. Como mostrado na figura 38, para posicionar os eixos alinhados com a parede foi preciso utilizar a seguinte seqüência de comandos e sub-opções:

Fig. 37: Ferramentas para visualização em perspectiva isométrica: No topo, menu relativo ao ponto de vista do usuário. No meio, vista isométrica em *wireframe*. Abaixo, aplicação do comando *hide*.



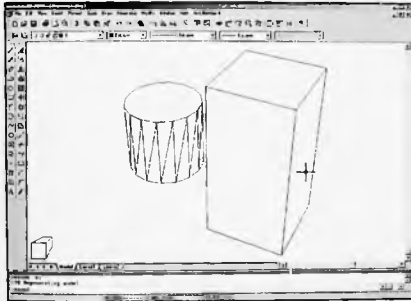
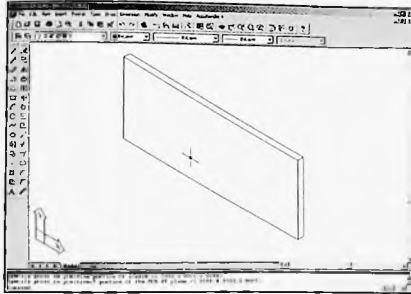


Fig. 38 (topo): Ícone UCS alinhado com a parede.

Fig. 39: Perspectiva cônica conseguida pelo comando *dview*.

#### UCS

Current ucs name: "NO NAME"

Enter an option [New/Move/orthoGraphic/Prev/Restore/Save/Del/Apply/?/World] <World>; n

Specify origin of new UCS or [ZAxis/3point/ObJect/Face/View/X/Y/Z] <0,0,0>; 3

Specify new origin point <0,0,0>:

Specify point on positive portion of X-axis <1.0000,0.0000,0.0000>:

Specify point on positive-Y portion of the UCS XY plane <1.0000,0.0000,0.0000>:

O ícone das coordenadas muda então para indicar o novo alinhamento dos eixos. Caso o usuário queira trabalhar em um novo plano de desenho – uma parede perpendicular à primeira, por exemplo – deverá posicionar novamente o UCS. Caso queira obter uma vista em perspectiva cônica, o usuário precisa dominar uma nova seqüência baseada no comando *Dview* e suas opções. Conseguir a vista que se deseja exige treinamento e paciência, uma vez que a interface se dá através de parâmetros de texto e o desenho por vezes foge ao controle do usuário, literalmente “sumindo” da tela. Após colocado em modo de perspectiva cônica, no entanto, muitos comandos de edição deixam de funcionar, devendo o usuário retornar à uma vista ortográfica ou em perspectiva axonométrica para continuar a edição do modelo. (Fig. 39)

#### Criação da Forma no Autocad

O AutoCAD trabalha com modelagem sólida e com modelagem por superfícies. Os comandos específicos para a modelagem de superfícies são:

- 3Dface

- Rulesurf
- Tabsurf
- Revsurf
- Edgesurf
- 3Dmesh
- Pface

Menegotto lista algumas definições que são aplicadas nos comandos de geração de superfícies:

**Geratriz:** a linha, curva ou reta, cujo movimento gera a superfície.

**Diretriz:** a linha fixa, curva ou reta, cuja forma ou posição dirige o movimento da geratriz.

**Plano diretor:** plano ao qual a geratriz permanece paralela.

**Superfície Regrada:** superfície que pode ser gerada por uma reta em movimento.

**Superfície de revolução:** superfície gerada a partir do movimento de rotação da geratriz em torno de um eixo.

Passaremos a ver cada um dos comandos de geração de superfícies com mais detalhe.

**3Dface:** gera a entidade tridimensional básica: um plano delimitado por 4 arestas. Essas arestas são definidas pelo posicionamento de 4 vértices.

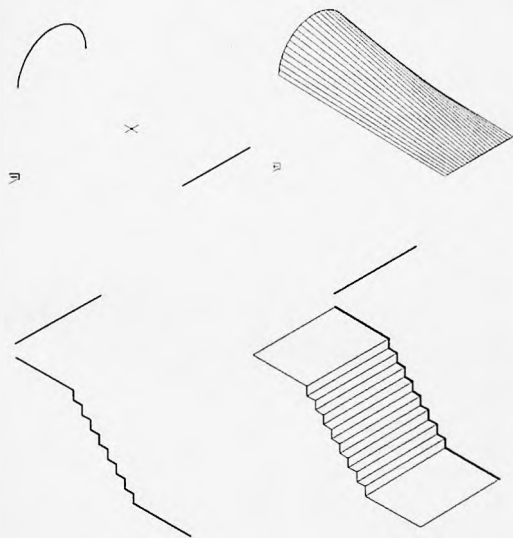


Fig. 40 (topo): Superfície gerada pelo comando rulesurf.

Figura 41: Superfície gerada pelo comando tabsurf.

**Rulesurf:** gera uma superfície regradada a partir da escolha de duas diretrizes. A geratriz será uma reta que se deslocará sobre elas. As diretrizes podem ser definidas utilizando quaisquer entidades lineares (linha, círculo, arco, etc.) (Fig. 40)

**Tabsurf:** gera uma superfície regradada a partir da escolha de uma geratriz (*path curve*) e de um vetor (*direction vector*). O sentido de construção será determinado pela direção do vetor, ficando a base do mesmo sempre do lado mais próximo ao local selecionado pelo usuário. (Fig. 41)

**Revsurf:** gera uma superfície de revolução a partir da escolha de uma geratriz (*object to revolve*), um eixo de revolução (*axis of revolution*) e finalmente, a escolha do ângulo inicial e do ângulo de rotação sobre o eixo. (Fig. 42)

**Edgesurf:** gera uma superfície a partir da escolha de 4 diretrizes que devem estar perfeitamente conectadas pelos seus vértices. (Fig. 43)

**3Dmesh:** gera uma malha aberta em ambos os sentidos. Embora não seja necessária a utilização de uma geratriz e uma diretriz para a criação de malhas com este comando, para ingressar os pontos

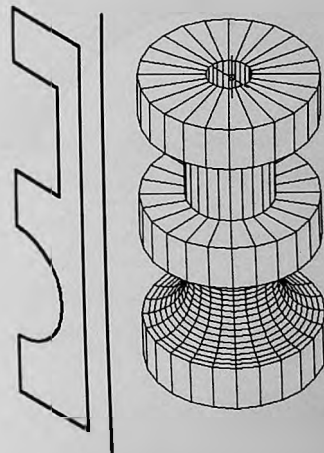


Fig. 42: Superfície gerada pelo comando revsurf.

que definirão a malha se faz necessária a utilização de uma *macro* ou *script* que automatize a tarefa.

**Pface:** produz um objeto multifacetado no qual cada face pode ter mais de 4 vértices. Também neste tipo de entidade, para ingressar os pontos que definirão a malha, se faz necessária a utilização de alguma *macro* ou *script*.

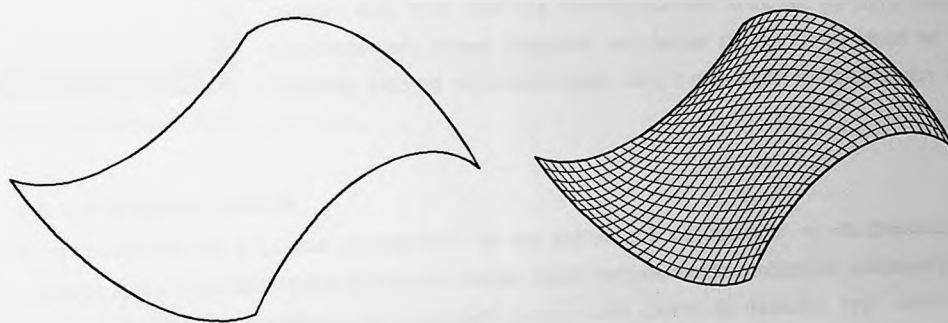


Fig. 43 : Superfície gerada pelo comando ednesurf.

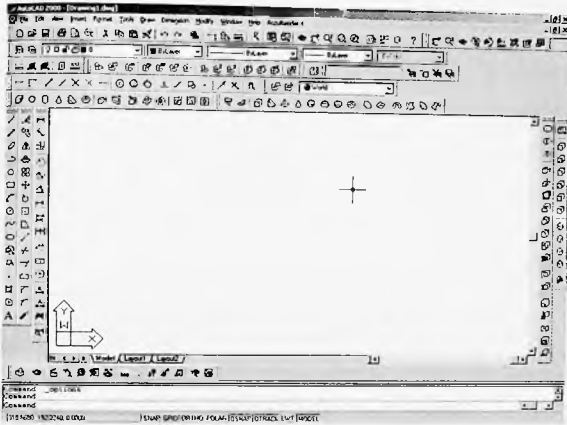


Fig. 44: Quantidade de botões relativos a comandos do AutoCAD.

#### 4.4.1.3 Ordem / Desordem

Senagala (2003) observa que os arquitetos são organizadores do espaço, e empregam seus conhecimentos para atingir este objetivo dentro do processo de projeto. Continuidade e codificação espaciais, proximidade e hierarquia são funções desejáveis e almeçadas.

Ao observar a tela do Autocad o arquiteto se depara com uma certa confusão espacial que mais uma vez impossibilita tais atributos. As ferramentas estão espalhadas em ícones flutuantes, em barras de menu, ou ainda na linha de comando. Não há regra nem lógica para a disposição geográfica dos recursos. (Fig. 44)

#### 4.4.1.4 Desenho / Escrita

Tradicionalmente os arquitetos se orgulham de sua capacidade de desenhar, e são pessoas que por natureza tentam resolver muitos problemas através deste recurso, sendo conhecidos, inclusive por serem de poucas palavras. A palavra, na arquitetura, sempre vem depois do desenho, seja como forma de especificar propriedades dos elementos seja para a justificação teórica do mesmo.

O Autocad mais uma vez subverte este processo ao forçar a escrita de comandos antes do desenho. Um usuário experiente pode até mesmo realizar todo o desenho somente através de texto. A seqüência desenho-escrita vira portanto, escrita-desenho.

#### 4.4.1.5 Ambigüidade / Precisão

A riqueza de um esboço de um arquiteto está não somente na sua qualidade gráfica, mas na margem de interpretações e novas possibilidades que este sugere. O traço ambíguo, sobreposto e flexível informa ao observador que se trata de uma idéia em desenvolvimento, da qual se pode dar ainda diferentes interpretações e encaminhamentos.

No Autocad esta ambigüidade se perde. O traço branco frio sobre o fundo preto, reto, preciso, não deixa margem a outras interpretações. O desenho já deve nascer exato e definitivo.

#### 4.4.1.6 Análogo / Digital

Arquitetura é uma atividade analógica. Um edifício alto deve ser construído alto com relação ao seu entorno. Uma parede grossa deve ser desenhada e construída dessa forma. A linguagem é, por sua vez, digital. "grande" tem menos letras e é uma palavra menor do que "pequeno". Tradicionalmente, para visualizar uma parede vermelha, o arquiteto usa lápis vermelho. Para indicar uma parede em corte, usa-se uma linha espessa. Cor e espessura de linhas fazem parte essencial do modo de ver e criar do arquiteto. O AutoCad mais uma vez o abandona. Cores no programa definem tão somente a espessura com que as linhas serão impressas, e não dizem nada sobre as propriedades pictóricas reais do ambiente. Linhas finas ou espessas somente aparecerão na impressão. Mais uma vez, códigos importantes no processo criativo são ignorados.(Fig. 45)

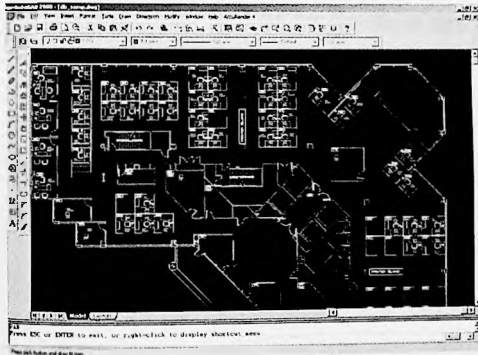


Fig. 45: Aparência de um desenho de uma planta baixa no AutoCAD.



#### 4.4.1.7 Estático / Dinâmico

Uma das diferenças básicas entre o desenho convencional e o desenho digital é que o primeiro está condicionado à estaticidade do papel, enquanto o segundo pode tomar partido da capacidade do computador em simular tempo e movimento. Esta capacidade é, no entanto, muitas vezes deixada em segundo plano, perdendo o arquiteto oportunidades de realizar análises importantes, impossíveis no desenho tradicional. O AutoCAD oferece um certo nível de dinamicidade em suas ferramentas. É possível efetuar operações de zoom de forma dinâmica, assim como quando objetos são movidos ou rotacionados, é possível acompanhar estas mudanças em tempo real. As mudanças de ponto de vista, no entanto, são difíceis de realizar de forma dinâmica, dada a dificuldade em se manipular o comando Orbit. Não há ainda possibilidade de realizar animações e as modificações efetuadas nos modelos tridimensionais são, na maioria das vezes, permanentes ou de difícil reversão.

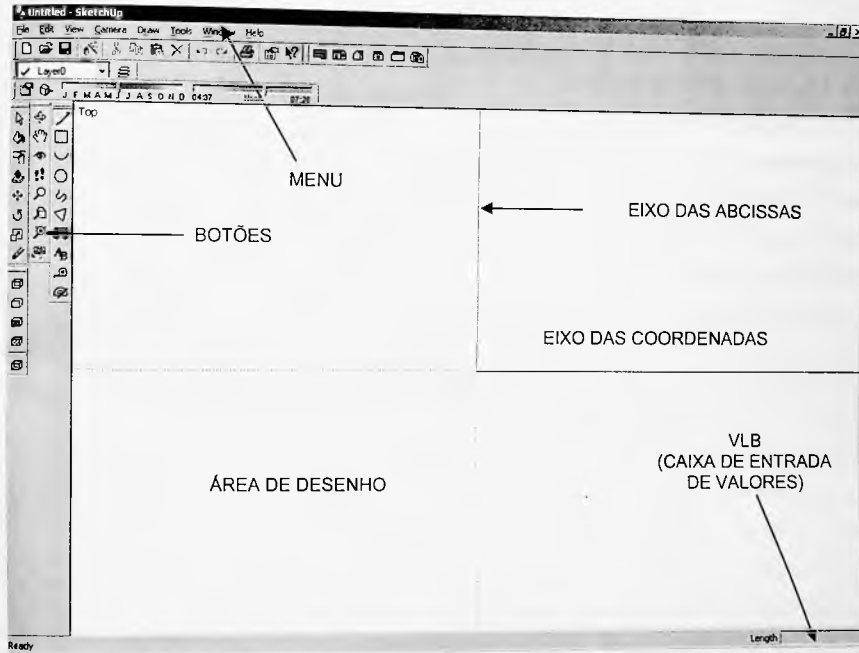


Fig. 46: Interface do SketchUp.

#### 4.4.2 A Interface do SketchUp

Segundo descrição do fabricante "O Atlas SketchUp é um programa desenvolvido para a fase conceitual do projeto, cuja interface, simples porém poderosa, permite a criação de formas tridimensionais de forma fácil e rápida.". Já em sua versão 4.0 o programa vem ganhando gradativamente aceitação no mercado e também encontrando espaço no meio acadêmico. O software foi totalmente desenvolvido para trabalhar em três dimensões, sendo possível extrair do modelo projeções ortogonais de cortes e elevações. Desta forma, pode-se enquadrá-lo na categoria de programas 3D+2D. Entre outros recursos, conta com um eficiente sistema de simulação da insolação, aceitando coordenadas precisas de latitude e longitude, e também é capaz

de gerar animações sem o esforço e o consumo de tempo tradicional de outros programas. Em oposição ao AutoCAD, sua interface é essencialmente gráfica, baseada em ícones e menus. Valores e dimensões exatas são opcionalmente inseridos na chamada VLB (*Value Control Box*). (Fig. 46)

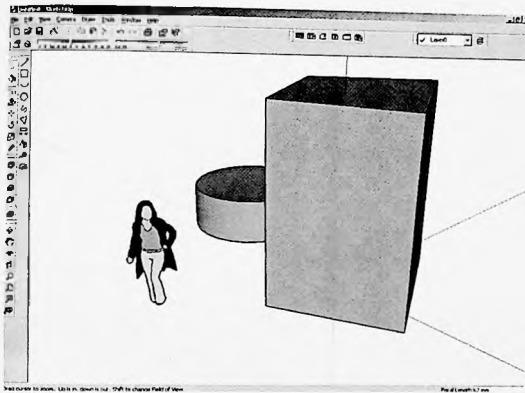


Fig. 47 (topo): Figura humana no SketchUp.

Fig. 48: Botões relativos a diferentes pontos de vista.

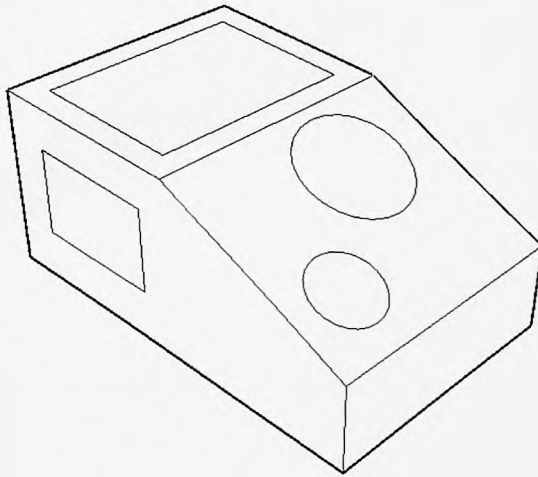


#### 4.4.2.1 Escala

Embora também sofra com as limitações próprias do desenho digital, onde a visão fragmentada e limitada ao monitor impede o usuário de obter uma visão do conjunto e manter uma noção constante de escala, o SketchUp apresenta algumas vantagens em relação ao AutoCAD. O padrão em cor branca se aproxima à alusão ao desenho convencional em papel e há ainda a possibilidade de fácil e rápida inserção de elementos humanos, o que possibilita ao usuário conservar a noção da escala em que se está trabalhando. (Fig. 47)

#### 4.4.2.2 3D/ 2D

O SketchUp é um programa intrinsecamente tridimensional. Todas suas ferramentas e recursos estão voltados para facilitar a modelagem em três dimensões. Assim como o Autocad, o ponto de vista inicial apresentado mostra uma vista de topo, onde se pode visualizar os eixos X e Y. O programa adota uma convenção de cores para identificar os eixos – vermelho para o eixo X, verde para o eixo Y e azul para o eixo Z. Desta forma o usuário pode ser informado continuamente sobre o alinhamento dos objetos que desenha. O sistema pode trabalhar em projeção axonométrica ou em projeção cônica. Pode-se escolher o ponto de vista desejado através dos botões mostrados na figura 48. Novas posições são facilmente obtidas pelo uso do comando *Orbit* que permite que o usuário circule ao redor do modelo de forma instantânea.



### Planos de Desenho

Uma grande facilidade presente no programa é que cada plano do modelo tridimensional se constitui em um plano de trabalho. Desta forma não é necessário efetuar nenhum novo posicionamento dos eixos para desenhar numa superfície vertical, por exemplo. Neste caso, o cursor se adequa automaticamente à superfície que é posicionada, permitindo que novos desenhos sejam posicionados naquele plano, como visto na figura 49. Além da costumeira ferramenta SNAP<sup>12</sup> presente na maioria dos programas CAD, o programa conta com um outro valioso recurso chamado de **Inferência**. A inferência permite que novos elementos sejam constantemente referenciados e alinhados com outros já existentes. Estas duas propriedades em conjunto aproximam o desenho digital do gestual tradicional, uma vez que no desenho à mão livre o arquiteto não necessita pensar em mudanças de eixos para desenhar sobre diferentes planos, e utiliza extensivamente alinhamentos visuais para posicionar novos elementos. (Fig. 50)

### Geração da forma no SketchUp

O SketchUp utiliza a modelagem por superfície para a criação das formas tridimensionais, sendo ainda capaz de gerar visualizações em *wireframe*. Todos os elementos desenhados são baseados em linhas e planos. A principal ferramenta de criação de formas em 3D chama-se *push and pull*. Este recurso permite que qualquer plano possa ser facilmente extrudado ao longo de uma normal com

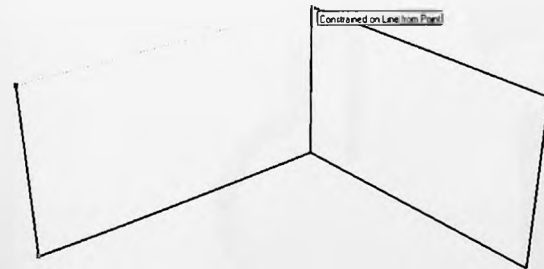


Fig. 49 (topo) : Planos de desenho no SketchUp.

Fig. 50: Ferramenta de inferência.

<sup>12</sup> A ferramenta SNAP permite que pontos utilizados para construções de entidades geométricas, tais quais extremidades de linhas e centros de círculos, sejam aderidos a outros pontos pré-existentis de forma totalmente precisa.

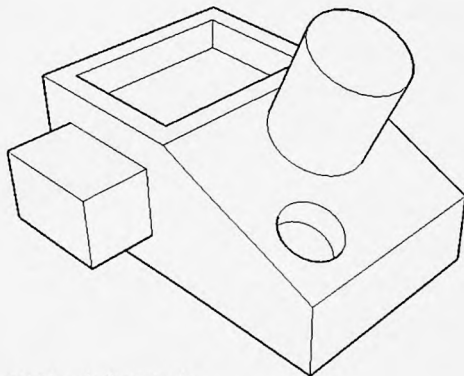


Fig. 51: Uso da ferramenta *push and pull*.

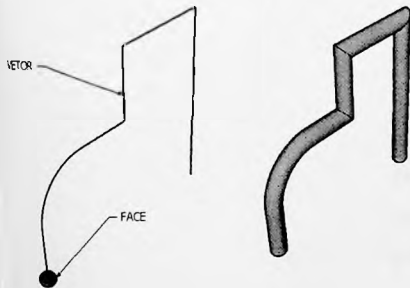


Fig. 52: Ferramenta *follow me*.

relação ao plano. Os volumes criados podem então ser "positivos", ou "negativos". Volumes negativos constroem reentrâncias nas superfícies em que são extrudados. (Fig. 51) Além desta ferramenta de extrusão, elementos tridimensionais podem ser criados através do desenho de linhas. Sempre que uma sequência de linhas coplanares fechar uma determinada área, uma face será criada. Outras duas valiosas ferramentas foram inseridas na versão 4.0 do programa:

A ferramenta *follow me* permite que uma face seja extrudada na direção de um vetor que pode ser representado por vários elementos bidimensionais, tais quais linhas,

arcos e círculos. (Fig. 52). O recurso *intersect*, por sua vez, permite criar automaticamente linhas de interseção entre superfícies que se cruzam, gerando elementos independentes que podem apagados ou escondidos para revelar a geometria que se deseja. Com isto permite-se, na verdade, que se simule operações booleanas efetuadas em modelos sólidos. (Fig. 53)

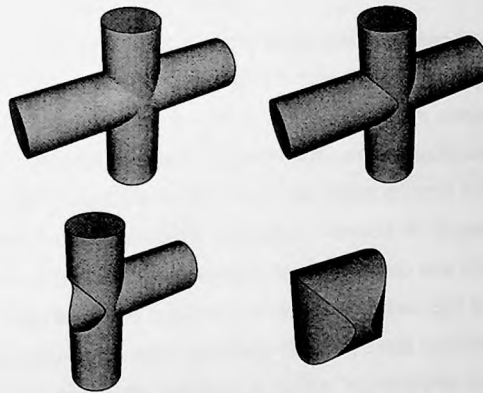
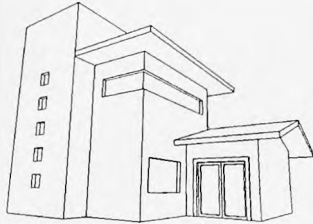


Fig. 53: Ferramenta *intersect*.



#### 4.4.2.3 Ordem / Desordem

A tela de trabalho do SketchUp possui poucos botões que são dispostos de forma organizada ao redor da área de trabalho, tornando o acesso às ferramentas mais rápido e eficiente e, mantendo, desta forma, uma estética de design minimalista.

#### 4.4.2.4 Desenho / Escrita

No SketchUp não há emissão de comandos escritos, já que sua interface é baseada principalmente em botões e menus. A entrada de nomes e valores acontece, via de regra, após o desenho. O pensamento gráfico vigora, portanto, na maior parte do tempo.

#### 4.4.2.5 Ambiguidade / Precisão

A forma de trabalho no SketchUp não exige que o usuário forneça previamente a dimensão dos elementos desenhados. Assim como no desenho à mão livre, objetos tridimensionais podem ser criados livremente, contando apenas como senso de proporção de quem o executa. Opcionalmente, as dimensões exatas podem ser inseridas logo após o desenho de um elemento, ou gradativamente, durante o desenvolvimento do projeto. Esta liberdade facilita o fluxo de idéias durante o processo criativo e deixa o arquiteto mais livre para refletir sobre as qualidades espaciais e formais do projeto, tão importantes na fase inicial. O programa oferece ainda algumas possibilidades de visualização que procuram simular o traço do arquiteto enquanto desenha à mão livre, tais quais extremidades de linhas que se cruzam (*extension*), traços irregulares (*jitter*) e contornos mais destacados (*profiles*). (Fig. 54) Estas opções de visualização são, mais do que um recurso estilístico, uma forma de enfatizar o caráter exploratório e preliminar do desenho, tornando possível a descoberta de emergências e ambigüidades e comunicando para o próprio arquiteto, para outros

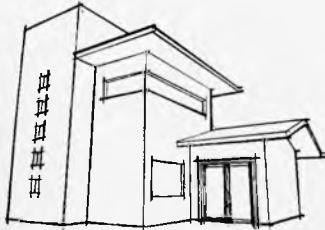


Fig. 54: Diferentes opções de visualização no SketchUp.

profissionais e clientes que trata-se de uma idéia em desenvolvimento, ainda abertas a novas especulações e modificações.

#### 4.4.2.6 Análogo / Digital

A interface do SketchUp tende a representar os elementos da maneira como estes são idealizados. Desta forma, os códigos visuais empregados se assemelham aos utilizados no desenho à mão livre. Cores de linhas e superfícies indicam a verdadeira intenção do arquiteto e espessuras de linhas evidenciam os contornos e as superfícies seccionadas.

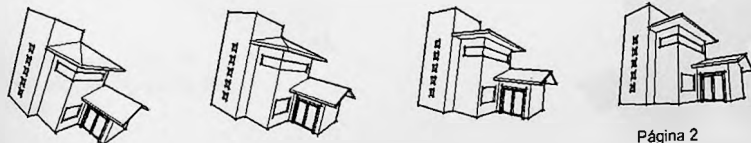
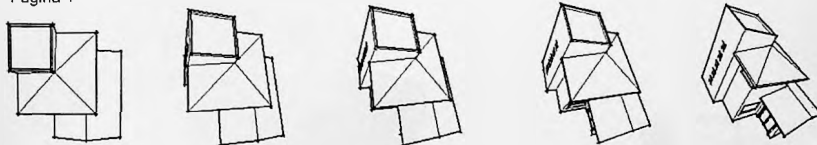
#### 4.4.2.7 Estático / Dinâmico

Os fatores tempo e movimento estão presentes na maioria das ferramentas disponíveis no SketchUp. O comando Orbit permite que o ponto de vista seja constantemente alterado, mesmo durante a execução de outros recursos, bastando para isso utilizar o botão intermediário do mouse. Pontos de vistas diferentes

são facilmente armazenados através da criação de páginas, e a transição entre estas páginas se dá em forma de animação, que pode ser exportada para o formato de vídeo AVI ou para quadros isolados. (Fig. 55) Cortes também podem ser gerados por meio da ferramenta **section**, que posiciona o corte de acordo com o plano desejado. Uma vez posicionada, a seção pode ser movida e rotacionada de forma dinâmica, revelando a

Figura 55: Animação realizada entre duas páginas.

Página 1



Página 2

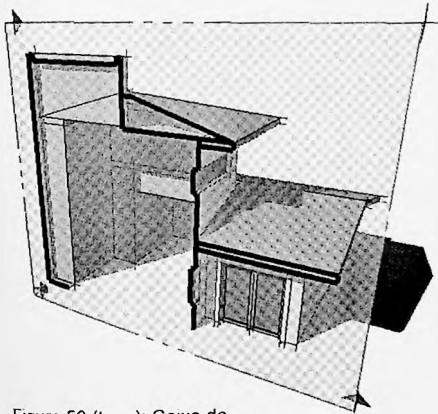
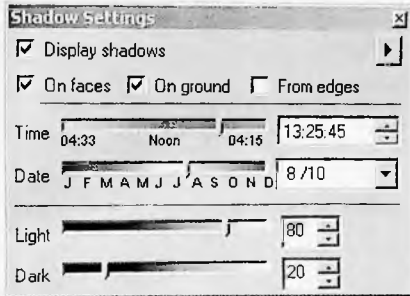


Figura 56 (topo): Caixa de diálogo para configuração de sombras.

Figura 57: Plano de corte.

volumetria interna do modelo.(Fig. 57) O programa conta ainda com um sistema de simulação da luz solar, que pode ser ajustado precisamente à latitude e longitude do local desejado. Esta iluminação também pode ser ajustada de forma dinâmica, sendo que o usuário pode observar em tempo real a variação das sombras ao longo do dia ou mesmo ao longo de um ano. (Figs. 56 e 58) Ao inserir o fator tempo e movimento ao longo do processo de criação do projeto, o SketchUp permite que tais recursos auxiliem o arquiteto na tomada de decisões ainda em fases preliminares. A animação deixa de ser o produto final e passa a informar continuamente o arquiteto sobre diversos aspectos formais e espaciais. O corte também deixa de ser apenas mais um documento técnico bidimensional e assume um papel analítico, assim como a simulação dinâmica da luz solar permite ajustes imediatos na composição de proteções contra a radiação direta.

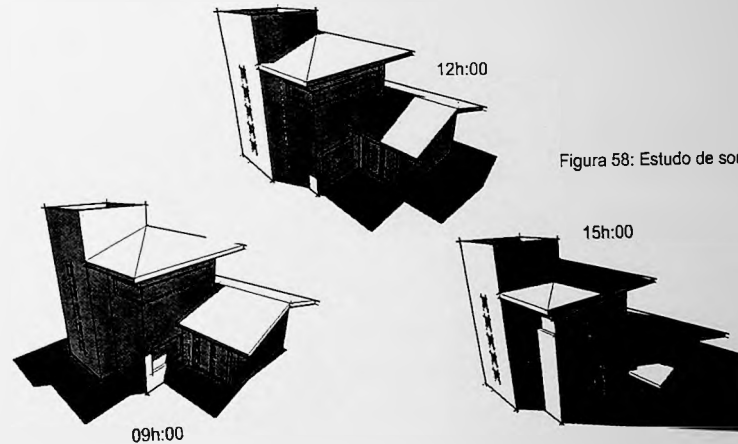


Figura 58: Estudo de sombras.



Em vista do exposto, constata-se que embora o SketchUp ainda sofra com as limitações que o desenho digital impõe, especialmente no que se refere aos instrumentos de interação entre programa e usuário, sua interface se mostra mais amigável e adequada à fluência do pensamento gráfico e ao desenrolar do processo criativo do arquiteto.

## 5. CONCLUSÕES

O fenômeno psicológico denominado criatividade é, na verdade, um processo que tem como resultado a emergência de algo novo e pressupõe a existência de um problema a ser resolvido. Mais do que uma habilidade inata ou um dom divino, a criatividade é resultado de esforço consciente, trabalho e dedicação, e como tal, pode ser praticada e aprendida. Estão envolvidas no processo criativo várias operações intelectuais, dentre as quais se destaca a dualidade entre pensamentos convergentes e divergentes, sendo os primeiros voltados à resolução de problemas lógicos e dedutivos e os segundos afeitos à abstração e imaginação.

O ato criativo em arquitetura é característico por utilizar ambos os pensamentos, uma vez que o objetivo da criação consiste em espaço habitável, que, como tal, além das características pictóricas, formais e estéticas, demanda um alto grau de adequação à função a que se destina, bem como deve obedecer a uma vasta lista de condicionantes, tais quais os técnicos, econômicos e ergonômicos.

Para alcançar seu objetivo, ou seja, criar um espaço que atenda a todas as necessidades envolvidas, o arquiteto deve ser capaz de articular mentalmente todas as condicionantes e a partir destas elaborar imagens mentais com soluções potenciais. A adequação destas idéias vai depender de fatores qualitativos e quantitativos, sendo que um dos principais é o repertório de imagens e soluções presentes na mente do arquiteto.

Tais idéias, se confinadas somente ao espaço mental, não podem ser totalmente desenvolvidas, e necessitam, portanto, de uma expressão material. Em épocas antigas, este processo de criação do espaço parecia acontecer de forma quase direta, baseado na experiência do arquiteto-mestre-de-obras que conduzia a

construção *in loco*. Também foram utilizados modelos físicos em diversos materiais. Desde o renascimento, no entanto, o desenho tornou-se o principal instrumento de comunicação e criação de idéias do arquiteto.

Ao desenhar suas primeiras idéias mentais, o arquiteto efetua um processo de comunicação consigo mesmo e com outrem, que por sua vez gera novos subsídios para reavaliação destas idéias e conseqüente geração de novas imagens mentais que serão reaplicadas ao desenho.

Estes primeiros desenhos, chamados de Croquis, ou Esboços, e que podem, a princípio parecer demasiado simplistas e desprovidos de técnica mais apurada, na verdade são as sínteses dos principais conceitos que o arquiteto deseja imprimir ao projeto. Tais desenhos vão de diagramas quase abstratos a representações mais artísticas do espaço.

Embora aparentemente simples, esboçar idéias rapidamente e com qualidade expressiva requer habilidade, treinamento e conhecimento das regras e convenções de desenho, sobretudo do conceito de projeção e do processo de perspectiva.

Além de principal instrumento no processo criativo, o desenho segue em outras etapas do projeto como elemento de documentação oficial para fins de aprovação e execução do edifício. Aqui ele ganha mais do que nunca o status de técnica e passa a seguir os princípios da Geometria Descritiva e as normas e convenções dos órgãos técnicos. Nesta etapa instrumentos manuais e/ou computadorizados passam a ajudar a execução destes desenhos, com, no entanto, quase mais nenhuma influência sobre o processo criativo.

Conclui-se que ser criativo em arquitetura requer conhecimentos artísticos, técnicos, práticos e teóricos, além de outros itens subjetivos, tais quais sensibilidade, capacidade de síntese e experiência profissional, que juntos irão alimentar o repertório de soluções para determinado projeto e tornar possível insights visuais com soluções potenciais. Tais *insights* serão convertidos em um meio material, (desenhos, no caso) que servirão de realimentação a este processo. Quanto maior for a habilidade do designer em transmitir idéias gráficas e espaciais, mais eficiente e rápido será o processo criativo.

As modificações em curso no processo do projeto arquitetônico e da produção do espaço construído em virtude do advento das novas tecnologias fazem parte de um processo mais amplo de transformação através do qual se delineia uma emergente sociedade, chamada de sociedade da informação, baseada em novos valores e conceitos. Dentre estes conceitos destacam-se a dualidade bit x átomo e a organização da sociedade em redes de informações cada vez mais abrangentes.

Como resultado desta nova conformação social e da modificação dos meios de produção, novas formas de arquitetura têm sido relatadas, às quais se atribui a denominação de arquiteturas digitais. De forma semelhante, a transformação das relações entre pessoas e instituições tem modificado as conformações dos espaços urbanos, uma vez que muitas atividades agora podem ser realizadas no chamado ambiente virtual.

Estas novas tecnologias têm se aproximado do processo de projeto e construção através de várias frentes. Consta-se, no entanto, que esta aproximação tem tido melhores resultados nos aspectos quantitativos do que nos qualitativos, sendo que a fase de concepção do projeto continua, via de regra, a deixar de tomar partido destas novas possibilidades. Tal situação ocorre por variados motivos, acreditando-se ser um dos

principais a falta de uma interface eficiente entre arquiteto-computador que permita uma tradução amigável do gestual característico utilizado no processo criativo.

Algumas tentativas têm sido realizadas no sentido de tentar uma aproximação entre ato criativo e ferramentas computacionais. Entre estas tentativas destacam-se os trabalhos de Gabriela Celani e do *Design Machine Group*, sendo que a primeira utilizou uma abordagem baseada no pensamento computacional e na customização das ferramentas através da utilização de noções de programação, enquanto o segundo se ocupou em desenvolver sistemas protótipos que suportem e auxiliem as modalidades gráficas conceituais.

**Pode-se concluir que qualquer tentativa de mediação do processo criativo através do computador deve levar em conta o gestual característico do arquiteto, bem como os processos de pensamento gráfico envolvidos neste ato. Ignorar esta questão significa continuar a produzir programas com recursos cada vez mais avançados com relação à produção da forma e ao gerenciamento do projeto, mas que passarão distante dos processos de criação e cognição.**

A partir das constatações anteriores, e tendo em mente os conceitos de Interface e de Interação Humano-Computador, e ainda baseado na experiência do autor e no modelo de análise apresentado por Senagala, a comparação qualitativa entre as interfaces do programa CAD de principal utilização no mercado (Autodesk AutoCAD 2000) e de um programa de concepção mais recente destinado ao desenho conceitual (Atlas Sketchup 4.0), conduziu a uma série de considerações. Levando em conta pares de conceitos opostos sugeridos por Senagala - em escala / sem escala ; 2D / 3D ; analógico / digital ; ordem / desordem ; ambigüidade / precisão ; escrita / desenho e estático / dinâmico - esta comparação evidenciou as capacidades e limitações existentes nas interfaces de ambos os softwares em se adequar ao processo criativo do arquiteto.

Quanto ao Autodesk AutoCAD , embora dotado de inúmeros recursos para o desenho em duas e três dimensões, o programa se mostrou inadequado em auxiliar e incrementar o processo criativo do arquiteto em todos os pares de conceitos analisados. Sua interface em muito difere do gestual natural de desenho, e a comunicação visual utilizada interfere na fluência do pensamento gráfico. Além disso, a necessidade de precisão imposta pelo programa elimina as desejáveis ambigüidades e emergências presentes no desenho tradicional.

O Atlast SketchUp, por sua vez, representa um avanço na tentativa de aproximação entre desenho digital e processo criativo. Sua interface procura se aproximar do gestual natural de desenho, e a forma de comunicação visual apresentada facilita a fluência do pensamento gráfico, além de permitir um certo grau de imprecisão e flexibilidade. As possibilidades de manipulação dinâmica e de simulação dos efeitos da iluminação natural também contribuem para o processo de tomadas de decisões, característico da fase conceitual do projeto.

**Como conclusão final, observa-se que o desenho digital traz consigo limitações e capacidades próprias do ambiente em que se realiza. Se por um lado o computador oferece recursos impossíveis de serem obtidos no desenho tradicional, por outro a interface arquiteto-máquina ainda se mostra inadequada à fluência do processo criativo. Constata-se, no entanto, que a pesquisa por novas interfaces que busquem esta aproximação é promissora, e que mesmo contando apenas com o *hardware* disponível no momento atual, simples mudanças na forma de interação entre o arquiteto e os programas CAD podem significar grandes avanços na tradução do pensamento criativo para o meio digital, possibilitando que aquele, impulsionado pelos recursos que só o computador pode oferecer,**

**possa acontecer de forma mais abrangente e responder adequadamente às novas demandas impostas pela emergente sociedade da informação.**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, E. M. L. S. de. **Criatividade**. 2ª Ed. Brasília: Editora UnB, 1995.

ARNHEIM, Rudolf. **Visual Thinking**. University of Berkeley Press, 1969.

BARROS, Vanessa Tavares de Oliveira. **Avaliação da Interface de Um Aplicativo Computacional Através de Teste de Usabilidade, Questionário Ergonômico e Análise Gráfica do Design**. Florianópolis; UFSC, 2003. Dissertação de Mestrado.

BENTLEY, P. J. **Is Evolution Creative?** Proceedings of the AISB'99 Symposium on Creative Evolutionary Systems (CES). Published by The Society for the Study of Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour (AISB), pp. 28-34 ; 1999.

BENTLEY, P. J. ; CORNE, D. W. **An Introduction to Creative Evolutionary Systems**. Capitulo 1 . San Francisco, CA. 2001.

BORGES, Marcos Martins; Naveiro, Ricardo Manfredi. **Expressão Gráfica e Projetos de Engenharia, Arquitetura e Desenho Industrial: Considerações acerca das formas tradicionais e recursos computacionais para a representação do projeto**. Ouro Preto: Rev. Esc. Minas, jan./mar. 2001, vol.54, no.1

BROADBENT, G. **Diseno Arquitectonico**. Barcelona: Gustavo Gilli, 1974.



CARPO, Mário. **Cyberarch.edu – Três Temas em Busca de um Autor. AQUI** – Revista do Instituto de Arquitetos do Brasil – Departamento de Minas Gerais. Número 3. Abril 2002.

CASTELLS, Manuel. **The Information Age: Economy, Society and Culture Vol.I: The Rise of the Network Society**. Cambridge MA. Oxford UK: Blackwell Publishers, 1996.

CASTELLS, Manuel. **The Information Age: Economy, Society and Culture Vol.II: The Power of Identity**. Malden MA. Oxford UK: Blackwell Publishers, 1997.

CASTELLS, Manuel. **The Information Age: Economy, Society and Culture Vol.III: End of Millennium**. Malden MA. Oxford UK: Blackwell Publishers, 1998.

CELANI, Gabriela. **Cad Criativo**, Rio de Janeiro: Campus, 2003.

CELANI, Gabriela. **Beyond analysis and representation in CAD: a new computational approach to design education**. Tese de Doutorado. MIT, EUA, 2002.

DUARTE, Rovenir Bertola. **A Introdução do Computador no Processo Ensino/Aprendizado do Projeto Arquitetônico: Estudo de Casos**. São Paulo; FAU USP, 2000, Dissertação de Mestrado.

EDWARDS, Betty. **Desenhando com o Lado Direito do Cérebro**. Rio de Janeiro: Ed. Ediouro. 1999.

- GERO, J. S. **Creativity, emergence and evolution in design: concepts and framework**, Knowledge-Based Systems Magazine 9(7): 435-448; 1996.
- GERO, J. S. **Computers and creative design**, in M. Tan and R. Teh (eds), The Global Design Studio, National University of Singapore. 1996.
- GOUVEIA, Anna Paula Silva. **O Croqui do Arquiteto e o Ensino do Desenho**. São Paulo; FAU USP, 1998, Tese de Doutorado.
- DO, Ellen Yi-Luen. **Drawing Marks, Acts and Reacts: Towards a Computational Sketching Interface for Architectural Design**. in Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. Cambridge University Press, 2002.
- GROSS, Mark D.; DO, Ellen Yi-Luen. **Thinking with Diagrams in Architectural Design**. in Thinking with Diagrams Interdisciplinary Workshop, 1997, Portsmouth.
- JOHNSON. Paul-Alan. **The theory of Architecture; concepts, themes & practices**. Nova York: Van Nostrand Reinhold. 1994.
- KIATAKE, Marly. **Modelo de Suporte ao Projeto Criativo em Arquitetura: Uma Aplicação da TRIZ - Teoria da Solução Inventiva de Problemas**. Escola Politécnica da Universidade São Paulo, 2004, Dissertação de Mestrado.

KOLAREVIC, Branko. **Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the In-formation Age, Reinventing the Dis-course - How Digital Tools Help Bridge and Transform Research, Education and Practice in Architecture** [Proceedings of the Twenty First Annual Conference of the Association for Computer-Aided Design in Architecture / pp. 268-278; Buffalo (New York); 2001.

LASEAU, Paul. **Graphic Thinkink for Architects and Designers**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1989.

LAWSON, Brian. **How Designers Think: The Design Process Desmystified**. Architectural Press: 1986.

LEVY, P. **As tecnologias da Inteligência: O Futuro do pensamento na Era da Informática**. Rio de Janeiro: Editora 34, 1993.

LUCCA, Rinaldo Tessuti de. **Avaliação de programas CADD no setor de projeto arquitetônico**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-USP. 1999.

MAHFUZ, Edson. **O Mito da Criatividade em Arquitetura**. Publicado em 29/11/2003 no INFOIAB-RS. (<http://www.iab-rs.org.br/colunas/artigo.php?art=74>)

MENEGOTTO, José Luís ; ARAÚJO, Tereza Cristina Malveira. **Desenho Digital. Técnica &Arte**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2000.

MITCHELL, William J. **City of Bits: space, place and the Infobahn**, Cambridge: MIT Press, 1995.

MITCHELL, William J. **The Logic of Architecture: Design , Computation and Cognition**. Cambridge: MIT Press, 1990.

MUÑOZ PEREIRA, Leonardo. **La Industria de la Construccion como Cadena de Valor**, SIGraDi - [Proceedings of the 5th Iberoamerican Congress of Digital Graphics]; pp. 288-290; Concepcion (Chile) 21-23 september 2001,

NEGROPONTE, Nicholas. **Being Digital**, New York: Knopf, 1995.

NETTO, Antônio de Oliveira. **IHC – Modelagem e Gerência de Interfaces com o Usuário**. Florianópolis: VisualBooks, 2004.

ORTEGA, Artur Renato. **O Projeto e o Desenho no Olhar do Arquiteto**. São Paulo: FAU USP, 1997, Dissertação de Mestrado.

OSTROWER, F. **Criatividade e Processos de Criação**. 6ª Ed. Petrópolis: Vozes, 1987.

PORTER, Tom. **The Architect's Eye: Visualization and Depiction of Space in Architecture**. Londres: E & FN SPON, 1986.

PRATINI, Edison. **Uma Interface Gestual para Esboços 3D em Arquitetura**. São Paulo: FAUUSP, 1999. Tese de Doutorado.

PUNTONI, Geraldo V. **O Desenho Técnico e o Ato Criador do Arquiteto**. São Paulo; FAU USP, 1997, Tese de Doutorado.

REGO, Rejane de Moraes. **As Naturezas Cognitiva e Criativa da Projeção em Arquitetura: reflexões sobre o papel mediador das tecnologias**. Ouro Preto: Rev. Esc. Minas, jan./mar. 2001, vol.54, no.1

RODRIGUES, Daniel Wyllie Lacerda. **Uma Avaliação Comparativa de Interfaces Homem-Computador em Programas de Geometria Dinâmica**. Florianópolis; UFSC, 2002. Dissertação de Mestrado.

SAMPAIO, Andréa e BORDE, Andréa. **Será que na Era Digital o Desenho Ainda é a Marca do Arquiteto?** Anais SIGraDI 2000. Rio de Janeiro.

SCHMITT, Gehrard. **Bits and Spaces: architecture and computing for physical, virtual, hybrid realms**. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 2001.

SENAGALA, Mahesh. **Deconstructing AutoCAD. Toward a Critical Theory of Software (in) Design**. SIGraDi 2003 - [Proceedings of the 7th Iberoamerican Congress of Digital Graphics] Rosario Argentina 5-7 november 2003.

SILVA, Adriana Araujo de Souza. **Design como Interface da Contemporaneidade**. Rio de Janeiro: UFRJ / ECO, 1999. Dissertação de Mestrado.

SILVA, E. **Uma Introdução ao Projeto Arquitetônico**. 2ª Ed. Porto Alegre: Ed. da Universidade / UFRGS, 1998.

STROETER, João Rodolfo. **Teorias sobre Arquitetura**. Trad. Santiago Calcagno L. México: Trillas.1997.

VARGAS, Heliana Comin. **Memorial apresentado à Faculdade de arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, para o concurso de professor Titular**. São Paulo: FAUUSP 2002.