



CONTRIBUIÇÕES DO BUILDING INFORMATION MODELING NO PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA

Wilson Florio (1)

(1) Universidade Presbiteriana Mackenzie, rua itambé 45 prédio 9, 2114-8313

e-mail: wflorio@mackenzie.com.br

RESUMO

O objetivo deste artigo é examinar as contribuições do *Building Information Modeling* nas ações cognitivas realizadas pelo projetista durante o processo de criação e de desenvolvimento de projeto de arquitetura. A Tecnologia da Informação e Comunicação tem facilitado a disseminação de informações, substituindo o processo hierárquico por um projeto colaborativo. Como as práticas de AEC necessitam de colaboração e informações compartilhadas, torna-se fundamental a co-participação dos profissionais nas decisões projetuais, onde o BIM assume um papel fundamental. O BIM é constituído por um banco de dados que, além de exibir a geometria dos elementos construtivos em três dimensões, armazena seus atributos e, portanto, transmite mais informação do que modelos CAD tradicionais. Além disso, como os elementos são paramétricos, é possível alterá-los e obter atualizações instantâneas em todo o projeto. Esse processo estimula a experimentação, diminui conflitos entre elementos construtivos, facilita revisões e aumenta a produtividade. A pesquisa realizada examina três projetos, que serviram para testar o potencial de modelagem paramétrica de componentes e sua eficácia na visualização desses elementos no espaço. Concluímos que a inclusão do BIM no ensino de arquitetura contribui para a compreensão da articulação entre elementos construtivos do edifício, tornando mais clara e precisa a comunicação das informações e intenções projetuais.

ABSTRACT

The aim of this paper is to examine the contributions of *Building Information Modeling* to cognitive actions performed by the designer during the process of creation and development of architectural projects. The Information and Communication Technology has made easier the dissemination of information, making it possible the replacement of hierarchical processes by collaborative ones. AEC practices need shared information. Thus the co-participation of its professionals in the decision-making process, where BIM is crucial, is fundamental. BIM is a data bank which both exhibits the geometry of constructive elements in three dimensions and stores their attributes, so that it transmits more information than traditional CAD based models. Furthermore, as the elements are parametric, it is possible to alter them and obtain instantaneous updates in the whole design. This process stimulates experimentation, reduces conflicts between constructive elements, makes it easier for revisions and improvements and increases productivity. This research examines three designs aimed at testing the potentials of parametric modeling of components as well as its efficacy for their spatial visualization. We have concluded that the inclusion of BIM in architectural teaching contributes to the comprehension of the articulation between constructive components of the building, making the whole communication of design information and intentions clearer and more precise.

Palavras-chave: BIM, Metodologia de Projeto, AEC, Parametrização, Cognição, TIC.

1. A TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, COMPLEXIDADE E O BIM

Os edifícios da Era Digital são mais complexos do que aqueles da Revolução Industrial e do Modernismo. A complexidade de alguns projetos contemporâneos requer novos procedimentos de gerenciamento de informações. Para administrar esses tipos de projetos tem expandido o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), possibilitando controlar dados digitais dos projetos com geometria mais complexa, assim como programar a seqüência de atividades relativas à construção.

A complexidade de um projeto é determinada tanto pelo número de tecnologias aplicadas em uma mesma construção (GRAY, 2006), como pela habilidade de interpretar as informações e exigências do projeto. Além disso, a complexidade aumenta com a variedade de componentes manufaturados utilizados, exigindo maior precisão na articulação entre eles. A TIC tem sido usada para racionalizar, desenvolver processos e gerir dados da construção de edifícios, especialmente aqueles com maior complexidade formal-espacial.

O conceito de modelagem 4D (modelagem + tempo) entrou em discussão no final da década de 1990 (KOO e FISCHER, 2000). Com a introdução dos fatores tempo e custo no projeto BIM, os construtores puderam gerenciar e simular as etapas da construção, assim como analisar melhor a construtibilidade antes da execução. A principal vantagem da modelagem 5D (modelagem + tempo + custos) para os construtores é o aumento da precisão durante a construção, com menos desperdício de tempo, de materiais e de re-trabalho. Pode-se controlar tanto as atividades críticas que se sobrepõem durante a execução, como um melhor entendimento e controle visual do projeto final. Esse tipo de modelagem pode ser utilizado para várias necessidades de visualização, algumas invisíveis, tais como a simulação dos esforços estruturais (análise por elementos finitos - FEA), do movimento de ar dentro de um ambiente (CFD), ou visualizar a acústica e distribuição do som. Assim, a modelagem destinada à simulação de comportamentos e análise visual dos dados técnicos tem sido usada para realçar o entendimento da complexidade da tarefa projetual.

As discussões em torno de um processo colaborativo em arquitetura começaram já na década de 1970. Os primeiros resultados de algumas pesquisas importantes na construção civil, como a realizada na Universidade de Stanford (FISCHER e KUNZ, 2004), para a construção do modelo 4D do *Walt Disney Concert Hall* do arquiteto Frank Gehry, apontam a importância do trabalho multidisciplinar para solucionar construções de grande complexidade.

Os projetos complexos exigem um processo colaborativo, envolvendo muitos profissionais. Há uma crescente pressão e exigência por parte dos contratantes para que as equipes de projetistas sejam capazes de co-participar de todo o processo de projeto, com prazos menores e com maior qualidade. Esse paradoxo só pode ser desfeito se os profissionais utilizarem a TIC para aperfeiçoar o processo. Identificaremos a seguir as ações cognitivas realizadas durante a concepção de projetos e a contribuição do BIM, tanto para aperfeiçoar o ensino da arquitetura como para a formação de futuros profissionais, com o intuito de atender às novas exigências de projetos mais complexos.

2. O PROCESSO DE CRIAÇÃO DE PROJETO EM ARQUITETURA

As discussões em torno de metodologia de projeto têm sido amplamente discutidas ao longo dos últimos 40 anos. A partir da década de 1960 começou-se a discutir como o profissional de projeto (não só de arquitetura) cria e desenvolve idéias. Para isso teve a contribuição dos cientistas da cognição que desde então têm estudado como o *designer* projeta, particularmente identificado as ações cognitivas realizadas durante as etapas do processo de projeto. Esses estudos têm apontado alguns resultados significativos, especialmente em relação aos chamados projetos por processos híbridos, aqueles que incorporam tanto recursos manuais como computacionais.

Há quatro constatações importantes. A primeira constatação até o momento é que os esboços ambíguos são fundamentais para levantar novas hipóteses de projeto (GOEL, 1995). As idéias são catalisadas enquanto os croquis são realizados, proporcionando o pensamento visual (*visual thinking*), onde o designer realiza uma série de ações cognitivas a partir do registro e *re-interpretação* daquilo que foi desenhado (SCHÖN, 2000). A segunda conclusão é que a ordem de utilização dos recursos de

expressão, tanto manuais como computacionais, determina as ações cognitivas que influenciam a realização do projeto, determinando e conduzindo certas escolhas projetuais (SUWA et al., 1998). A terceira é que a reflexão se realiza durante a ação. Assim, a reflexão-na-ação é fundamental para a prática projetual, e permite que o projetista pense enquanto faz (GERO, 1998; SCHÖN, 2000). E finalmente a quarta constatação, que os diversos meios de representação e de simulação são complementares. Cada meio contribui para o conhecimento daquilo que está sendo concebido. Nesse sentido, tanto esboços e maquetes físicas como modelos digitais e protótipos rápidos são fundamentais para a concepção e comunicação do projeto (FLORIO, 2005).

Essas conclusões nos levam a constatar que o projeto é um problema mal-estruturado (GOEL, 1995), incerto e impreciso, desenvolvido por tentativa e erro. Os objetivos iniciais de quem projeta não estão claros no início do processo de criação. As decisões são tomadas *durante* a realização das ações projetuais, *situated-act* (GERO, 1998), decorrentes das *ações cognitivas físicas, perceptivas, funcionais e conceituais* (SUWA et al., 1998). As descobertas inesperadas (SUWA et al., 2000) e a invenção de assuntos e exigências emergem durante a realização de desenhos e de sua re-interpretação.

A partir do entendimento que as idéias e soluções emergem do reconhecimento visual de formas e propriedades contidas e percebidas no desenho durante o ato projetual (OXMAN, 2002), compreendemos a importância que os meios de representação exercem sobre as ações do designer durante a produção de idéias. Segundo Donald Schön, o profissional experimenta e repensa seu processo de conhecer-na-ação de modo a levantar novas questões e possibilidades a partir do problema de projeto (SCHÖN, 2000). Assim, ao mesmo tempo em que *reestrutura* a forma de conceber o problema, inventa experimentos para testar suas novas compreensões, situação em que as ferramentas digitais podem assumir um papel fundamental.

O resultado dessas pesquisas nos induz a pensar que durante a realização de projetos, o aluno deve ser capaz de realizar pelo menos três ações cognitivas para o pensamento criativo: *reconhecimento de problemas, reestruturação de problemas e manipulação de ferramentas para solução dos problemas*. Em nossa prática de ensino de projetos de arquitetura e de computação gráfica, entendemos que durante o Curso de Arquitetura o aluno deve ser preparado tanto para levantar novas questões, como também ser habilitado a respondê-las, tanto em relação aos aspectos estéticos e funcionais, como técnico-construtivos. Como afirmou Vinod Goel, na solução de problemas (*problem solving*), desenvolvemos nossa capacidade de reconhecer um conjunto de soluções insatisfatórias e transformá-las em soluções satisfatórias (GOEL, 1995). Assim, a reflexão-na-ação é um tipo de experimentação que poderá contribuir para que o aluno adquira novas compreensões e descobertas *durante* o processo de projeto, a partir de situações de incerteza e dúvida.

A ciência cognitiva quer explicar a cognição como manipulação de sistemas de representação do conhecimento ou como processamento de informações. Essa ciência tem demonstrado que os meios de expressão e de representação afetam nossas capacidades cognitivas. Em arquitetura, os diferentes sistemas de representação tais como esboços, desenhos técnicos, maquetes físicas e modelos digitais podem servir a diferentes funções cognitivas em cada fase do processo de projeto. Portanto, se cada meio de representação pode contribuir ou impedir processos cognitivos, a estratégia de uso e sua alternância em cada etapa do projeto são fundamentais, pois um sistema de representação usado em momento inadequado (ou adequado), impedirá (ou contribuirá para) o sucesso do processo criativo.

Na fase inicial do processo de projeto, o *designer* necessita de um *pensamento divergente* (JONES, 1970). Este termo se refere ao ato de estender os limites de uma dada situação de projeto de modo a procurar as possíveis soluções. Neste tipo de pensamento os objetivos são constantemente revistos e reformulados. Como o limite do problema é instável e indefinido, a avaliação de alternativas é adiada com a intenção de experimentar e testar hipóteses. É por essas razões que a criação do projeto normalmente começa por pequenos esboços, sem forma definida, nem claras intenções projetuais. Os *croquis* servem para levantar possibilidades e fazer emergir idéias durante a reflexão-na-ação.

Já na fase de desenvolvimento do projeto, o designer necessita de um *pensamento convergente*. Ele precisa escolher uma das alternativas testadas inicialmente, e a partir daí verificar a adequação e viabilidade técnica. Neste estágio, após o problema ter sido definido, as variáveis já foram identificadas e os objetivos e limites estão claros. É por essas razões que o desenvolvimento do projeto pode ser mais facilmente realizado por desenhos computacionais, onde se exige maior precisão e

definição de todos os elementos que irão compor o edifício. Entretanto, como veremos adiante, essa rígida divisão – fase de criação e execução – tem sido cada vez mais diluída, pois é possível antecipar certas decisões projetuais e experimentar utilizando ferramentas digitais já nas fases iniciais do projeto.

Recentemente Renée Cheng alertou sobre o perigo dos alunos aprenderem a utilizar o BIM para solucionar problemas e perder o pensamento crítico (CHENG, 2006), pois, em seu entendimento, o BIM é inerentemente dirigido para *responder* problemas e não para *questioná-los*. Já Paul Seletsky, em crítica a Cheng, rebateu que o BIM permite a análise crítica dos dados de projeto (SELETSKY, 2006), oferecendo melhores condições para que o aluno possa avaliar o projeto. Percebe-se claramente que essas duas visões – o pensamento divergente de Cheng e o pensamento convergente de Seletsky – referem-se a diferentes etapas do projeto. Se na fase inicial o estudante de arquitetura deve ser capaz de questionar os problemas criativa e criticamente (pensamento divergente), na fase final deveria ser capaz de responder aos problemas de modo técnico e preciso.

No Curso de Arquitetura o maior problema reside em formar um profissional que seja capaz de entender claramente tanto as sucessivas etapas de criação, desenvolvimento e execução de projetos, como saber utilizar os melhores recursos para expressar e comunicar suas idéias sem perder criatividade e competência técnica. Atualmente a ênfase é dada apenas para a primeira, e relegada a segunda. Portanto, durante sua formação, o aluno deveria percorrer um caminho onde pudesse desenvolver competências e habilidades tanto do lado criativo, intuitivo e artístico, como do lado lógico, racional e técnico.

Nossa proposta é de contribuir para repensar o ensino tanto de projetos de edificações como no ensino de computação gráfica, a partir dessas novas demandas profissionais. Entendemos que não basta ensinar técnicas de representação, manuais e computacionais, sem entender como podemos desenvolver as ações cognitivas em cada fase do processo de projeto. Também não basta ensinar desenhos 2D e modelos 3D desvinculados do pleno conhecimento de suas funções comunicativas. É necessário que o futuro profissional entenda o que é o *projeto colaborativo*.

3. PROJETO COLABORATIVO X PROJETO HIERÁRQUICO

Chamaremos projeto hierárquico aquele que um líder decide, comanda e centraliza todo o processo assumindo toda a responsabilidade para si do processo de projeto. Por outro lado, denominamos projeto colaborativo aquele que toda a equipe decide em conjunto, co-participa das decisões e na condução do processo, sem centralizar demasiadamente as decisões em um ou outro parceiro de projeto. Enquanto o primeiro é convencional, com troca de informações pontuais com o líder que distribui a informação, o segundo utiliza o TIC para trocar rapidamente informações dinamicamente, entre os parceiros, sem a rígida hierarquia.

As práticas profissionais de AEC necessitam de colaboração entre diversos profissionais, tanto de engenharia e arquitetura como das empresas da construção civil. Normalmente, no processo de projeto tradicional, os representantes de várias equipes de projetos independentes se reúnem temporariamente para estabelecer parâmetros para compatibilizar os diferentes projetos necessários para a execução de um mesmo edifício. A intenção é minimizar ou eliminar possíveis conflitos entre os diversos projetos, e realizar melhores projetos específicos respectivamente em cada área de competência.

O problema nesse processo sequencial centralizado é que as decisões acabam sendo hierárquicas entre os profissionais, com um único líder assumindo a responsabilidade de coordenar o desenvolvimento do processo e compatibilizar os projetos. Esse processo centralizado acarreta o risco tanto de diminuir o *desempenho* do produto como de reduzir possíveis contribuições e compromissos dos outros participantes, pois estes acabam percebendo sua menor influência nos processos decisórios. Consequentemente, essa compartimentação das responsabilidades desestimula a participação e as possíveis e preciosas contribuições que reside nos conhecimentos e experiências de cada profissional.

A TIC alterou o paradigma fordista-taylorista, apoiados pela divisão social do trabalho, especialização e fragmentação do conhecimento, por um paradigma de acumulação flexível, baseado na rapidez de acesso e do fluxo de informações, na produção e compartilhamento organizado do conhecimento e no uso de computadores e comunicações eletrônicas. Com os recentes avanços na TIC e dos programas

BIM tem crescido as experiências com os denominados *projetos colaborativos*. O rápido aumento da velocidade e acesso às informações oferecido pela TIC agilizou a troca de idéias e tomada de decisões em prazos mais curtos. Segundo Yehuda Kalay, a facilidade de comunicação à distância via Internet tem acelerado a troca de informações e tem estimulado profissionais a trocar e compartilhar conhecimentos e experiências, de modo confiável e seguro (KALAY, 2006). Isso tem afetado também o modo com que as equipes de projeto relacionadas a área de AEC tem trabalhado.

Colaboração exige que os profissionais trabalhem juntos livremente, extraindo o máximo de seu potencial de conhecimentos e experiências. No projeto colaborativo em rede, os profissionais podem trocar informações sobre seus respectivos projetos de um modo mais ágil em prazos menores. O controlador hierárquico é substituído por um facilitador que recebe e transmite informações, cujo papel passa a ser de certificar que as contribuições individuais sejam acatadas, enriquecendo a solução do produto a partir dos conhecimentos e sugestões de todos os participantes do processo. No projeto colaborativo as responsabilidades, riscos e sucessos são distribuídos por todos os participantes.

Para isso é fundamental que haja um padrão de comunicação aceita e utilizada por todos. Nesse sentido, os programas BIM podem contribuir enormemente para a integração das informações provenientes dos diversos projetos em um único modelo digital 4D, constituído por um banco de dados de todos os elementos construtivos e suas relações espaciais. O impacto do *Building Information Modeling* e do processo colaborativo na metodologia de projeto em arquitetura tem os seguintes desafios:

1. Melhorar a visualização dos dados e informações sobre o projeto, assim como tornar clara as exigências do cliente já nas fases iniciais do projeto, permitindo compreender e participar ativamente do processo de projeto;
2. Contribuir para melhorar a eficiência e qualidade da construção civil, com a intenção de reduzir custos e desperdícios de materiais e melhorar o aproveitamento de mão-de-obra;
3. Aprimorar a coordenação dos documentos compartilhados da construção a fim de promover tanto a rápida troca de informações, como aumentar a produtividade e melhorar os prazos de entrega dos projetos destinados à execução da obra;
4. Gestão de projetos que incorpore e compartilhe informações e distribua responsabilidades, riscos e recompensas entre os participantes do projeto, ou seja, trocar o projeto hierárquico por projeto colaborativo de modo que todos co-participem das decisões projetuais;
5. Incorporação e disseminação de informações oriundas de fabricantes dos materiais para quantificar e estimar custos;

4. CAD X BIM

O ensino de computação gráfica nas Faculdades de Arquitetura sempre enfatizou a realização de desenhos bidimensionais para comunicar as intenções projetuais da organização espacial. A modelagem 3D teve apenas a função de comunicar espacialmente a geometria das formas do edifício concebido. Mesmo o modelo digital 3D, que além da modelagem 3D contém a inserção de luzes (diretas e indiretas), modelos de sombreado, aplicações de texturas e mapeamento de superfícies, cumpriu o papel de simular computacionalmente a “aparência visual” dos aspectos de caráter estético e funcionais relativos ao espaço concebido. Até recentemente, pouco se fez para visualizar e compreender, pormenorizadamente, o aspecto técnico-construtivo e organização da seqüência de atividades relativa à construção dos elementos construtivos. A conseqüência disso é que os alunos acabaram por entender que os desenhos de arquitetura 2D e 3D servem apenas para comunicar a idéia de projeto na fase de criação. A falta de comprometimento com a fase de execução tem provocado sérias implicações e conseqüências em relação ao pleno entendimento das etapas da construção.

Muitos dos dados de um projeto digital não são computáveis (BERNSTEIN, 2004). Os desenhos tradicionais CAD são constituídos por representações abstratas, entidades isoladas tais como linhas, arcos, círculos e polígonos. Apesar de serem significativas, contém poucas informações úteis para quantificar e classificar elementos construtivos para a construção, pois simplesmente não podem ser computados pelo programa gráfico. Até mesmo modelos 3D usados para propósitos de visualização são pouco mais do que desenhos tridimensionais. Esses tipos de modelos digitais não contém

informações inerentes aos elementos construtivos tais como portas, janelas, escadas e lajes. No BIM as informações são computáveis porque este tipo de modelagem é constituído por:

- Banco de dados digitais integrados sobre o projeto de edifícios que é gerado ao mesmo tempo em que o modelo é produzido;
- Além da geometria dos elementos que compõem o edifício, o BIM armazena seus atributos, exibindo suas configurações em três dimensões e, portanto, transmitindo muito mais informação do que modelos CAD tradicionais;
- Elementos paramétricos, interconectados e integrados espacialmente, onde é possível alterar seus componentes e obter atualizações instantâneas que repercutem em todo o projeto;
- Um processo que tende a diminuir conflitos entre elementos construtivos, facilitar a compreensão da articulação entre elementos construtivos do edifício, facilitar as revisões e aumentar a produtividade;
- Um modelo digital tridimensional que gerencia o ciclo de vida (*lifecycle*) do projeto e construção do edifício que incluem os processos de construção, instalações técnicas e canteiro de obras, tornando a comunicação das informações e intenções projetuais mais claras e precisas.

5. PARAMETRIZAÇÃO

Normalmente, durante o processo de criação e desenvolvimento de um projeto de arquitetura, características específicas das partes desenhadas são revisadas e modificadas muitas vezes. Para responder a esse problema foi desenvolvida uma estrutura, embutida em programas gráficos computacionais, baseada em parâmetros e hierarquia: *as variações paramétricas*.

As variações paramétricas permitem criar alternativas do mesmo design proposto, variando levemente nas dimensões, proporções e formas. A definição do encadeamento na relação entre os componentes de um produto determina como as alterações podem ser realizadas. Assim, as entidades paramétricas facilitam o processo de alteração, pois carregam seus atributos e propriedades dentro de sua representação, que lhes permitem ser manipuladas e transformadas de acordo com essas características.

O uso de parâmetros para definir a geometria de elementos construtivos, no âmbito da construção civil, tem provado ser cada vez mais eficaz no processo de projeto. Edifícios são compostos literalmente de milhares de partes individuais e de um grande número de conexões. Uma modelagem desse tipo exige que essas porções sejam agrupadas em componentes constituídos por parâmetros que possam ser manipulados de acordo com a necessidade do usuário. A *escolha*, mesmo que parcial, é o primeiro passo para tornar os programas gráficos mais interativos e próximos do pensamento divergente, essencial na avaliação de alternativas na fase de criação. Assim, a variação paramétrica torna-se uma poderosa ferramenta digital para explorar diferentes configurações geométricas em projetos AEC.

Na modelagem BIM, os elementos construtivos são paramétricos, interconectados e integrados. Com o aprimoramento das capacidades de parametrização contidas nos programas gráficos é possível alterar seus componentes já modelados e obter atualizações instantâneas que repercutem em todo o projeto. A consequência disso é a diminuição dos conflitos entre elementos construtivos, a facilitação das revisões e o aumento da produtividade.

A habilidade de manipular a geometria dos elementos gráficos baseada em parâmetros, e de controlar o relacionamento dimensional entre eles, tem se tornado fundamental nas aplicações auxiliadas por computador (ROBERTS, 2004). A interação com os parâmetros contidos em cada elemento construtivo contribui para testar e aprimorar o projeto já na fase de criação, contribuindo para estimular a experimentação de novas formas. Dois exemplos recentes são os edifícios da *Prefeitura de Londres e a Chesa Futura*, criados pelo arquiteto Norman Foster com o programa Microstation, em trabalho colaborativo com o escritório de engenharia Ove Arup. O arquiteto concebeu as formas desejadas a partir de restrições paramétricas e das pré-condicionantes estabelecidas pela equipe de projeto na fase inicial de criação do projeto.

Os três tipos de parametrização – a parametrização de componentes; a relacional entre elementos; e a por regras, restrições e fórmulas – potencialmente podem servir tanto para gerar e encontrar a forma a partir de restrições e regras impostas pelo projetista, como para configurar e inter-relacionar com outros elementos paramétricos do projeto. Na parametrização relacional pode-se estudar como um componente pode afetar o outro conectado a ele. Portanto, a parametrização pode servir tanto para criar como para desenvolver formas e elementos necessários para o projeto: dependerá das ferramentas disponíveis no software utilizado.

6. O BIM NO ENSINO DE ARQUITETURA

Normalmente os Cursos de Arquitetura enfatizam a fase de criação de projetos de edificações e não a fase de execução. Dada a dificuldade de aprender a projetar, o ensino volta-se apenas para as fases iniciais do projeto, estudo preliminar e anteprojeto, deixando em segundo plano os problemas relativos à construtibilidade e viabilidade técnica. Assim, os alunos são estimulados a criar seus projetos sem efetivamente entender o método construtivo em seus pormenores.

Como os projetos realizados durante a graduação restringem-se apenas as formas e relações espaciais entre os diversos itens do programa de necessidades, sem praticamente considerar a estrutura e instalações, nem definições claras quanto aos elementos construtivos, falta ao estudante a compreensão de como se constrói um edifício a partir de seus elementos constituintes, de modo a entender como estes serão executados e montados durante a construção da obra. Portanto, há uma deficiência no processo de aprendizagem que impede uma visão mais abrangente sobre todo o processo, que englobe tanto o projeto como sua construção.

O processo BIM propicia um aprendizado integrador, onde os elementos construtivos vão sendo paulatinamente definidos em três dimensões. Enquanto o aluno modela a estrutura, vedações e caixilharias, etc. ele percebe as relações espaciais que cada um desses componentes assume no processo de construção. Apesar de que o aprendizado direto no canteiro de obras ser imprescindível e único, esse processo de construção virtual conduz ao entendimento do método construtivo, aproximando a compreensão da seqüência de sua execução no canteiro de obras.

Ao contrário dos desenhos 2D e 3D, baseado em entidades e não em elementos construtivos, que contribuem para a falta de compreensão do sistema construtivo, o processo BIM melhora sensivelmente a visualização espacial do que está sendo concebido. Com isso, os graves erros na representação nos desenhos técnicos de arquitetura, decorrentes do fato dos alunos desconhecerem a seqüência de execução das ordens de serviço na obra, tendem a diminuir, pois os detalhes dos encaixes e montagens podem ser analisados de perto *durante* a modelagem. Assim, os desenhos abstratos, sem quaisquer vínculos com a realidade da construção, são substituídos por desenhos precisos e detalhados.

O entendimento e programação da seqüência de atividades que serão realizadas no canteiro de obras são fundamentais para antecipar decisões e soluções que contribuam para diminuir desperdícios de tempo, de materiais e de recursos financeiros. A aplicação do BIM no projeto colaborativo pode contribuir tanto para aprimorar o processo de obtenção das quantificações dos elementos desenhados a partir do modelo digital 4D, como para o levantamento de custos e prazos para a execução.

7. EXPERIÊNCIA DIDÁTICA

A experiência didática, realizada na disciplina de Computação na Arquitetura no 3º ano do Curso, teve a duração de 8 aulas de 3 horas semanais, com a participação de 12 alunos. Foram modelados 3 edifícios no programa Autodesk Revit 8.1, com o propósito de identificar e analisar tanto as ações cognitivas durante a modelagem como verificar o aprendizado das relações espaciais entre os elementos construtivos.

A metodologia adotada em cada um dos três edifícios foi a seguinte: 1. A partir de um programa de necessidades, projetar um edifício utilizando croquis à mão-livre e desenhos no programa Revit; 2. Analisar as “descobertas” inesperadas *durante* o processo de modelagem paramétrica a partir das ações cognitivas; 3. Testar as variações paramétricas dos elementos construtivos; 4. Visualizar,

compreender e modificar relações espaciais entre os elementos dispostos no espaço; 5. Extrair quantificações dos elementos inseridos e configurados; 7. Analisar o processo todo assim como os resultados obtidos.

Dois professores monitoraram a realização dos croquis e dos modelos 3D. Nos croquis os alunos definiram tanto o partido arquitetônico como a setorização espacial, enquanto que no modelo digital foram definidos pormenores quanto às configurações espaciais e fechamentos a partir de seus elementos construtivos.

Na etapa inicial foram analisadas as ações cognitivas físicas (desenhar) e perceptivas (reconhecer e reinterpretar) a partir da análise tanto dos desenhos realizados – croquis e modelo digital – como nas discussões diretas com os alunos durante a realização dos mesmos. Os alunos foram paulatinamente relatando aos professores suas “descobertas” e suas dificuldades em realizar o experimento. A grande maioria dos estudantes declarou que os croquis serviram para levantar hipóteses sobre o projeto, mas foi *durante* a modelagem que descobriram relações entre os componentes que não conseguiam perceber nos croquis iniciais. As dificuldades apresentadas pelos alunos foram tanto de representação gráfica como técnica. Notou-se que a dificuldade de expressar em duas dimensões advém do desconhecimento técnico-construtivo, ou seja, não desenhavam corretamente porque não entendiam a seqüência de execução na construção.



Figura 1 – Edifício 1-visualização de elementos construtivos do edifício de diferentes ângulos.

Na etapa intermediária foram analisadas as vantagens da modelagem paramétrica e a contribuição da visualização 3D dos elementos no espaço. A maior parte do tempo foi dedicada a modelagem e modificação dos elementos a partir de seus parâmetros. Verificamos que a modelagem paramétrica torna rápida a modificação necessária, contribuindo para a experimentação de alternativas. Tanto a visualização dos elementos construtivos e suas relações espaciais, como os atributos obtidos por listagens a partir daquilo que foi modelado foram fundamentais para simular a construção dos componentes do edifício. Assim, enquanto a geometria dos elementos era gerada a partir dos parâmetros disponíveis no programa, pôde-se verificar a importância de modelar em três dimensões, analisando as interferências entre estrutura, aberturas e vedações.

O programa contém algumas características importantes que contribuem para alertar e antecipar a solução de possíveis conflitos. Quando um elemento é sobreposto a outro, o programa alerta o conflito e sugere modificações. O sistema de parametrização relacional permite unir, ou não, certos componentes, de modo a permitir que modificações futuras preservem determinadas características pré-determinadas. Apesar disso, as maiores dificuldades se davam na manipulação das muitas variáveis, dispostas em seqüências de caixas de diálogo que nem sempre são tão fáceis de compreender.

Um dos aspectos enfatizados pelos alunos foram as vantagens oferecidas pelo programa de visualizar separadamente e em três dimensões as famílias de componentes (vigas, pilares, lajes, alvenarias,

janelas, portas, escadas, coberturas, etc.), tornando a compreensão imediata, evitando a abstração de verificar relações espaciais em representações bidimensionais. Os professores observaram que os “conflitos” espaciais entre elementos construtivos eram identificados pelos alunos no ato da modelagem, propiciando um entendimento imediato de erros cometidos e condicionando a execução a partir da correção dos mesmos.

Uma grande desvantagem do programa Revit é que no Brasil não há desenvolvedores de elementos construtivos comuns em nossa construção civil. A duração do Curso não permitiu explicar como criar novas famílias de elementos no programa. Os alunos sentiram falta de componentes tipicamente brasileiros, particularmente janelas e portas. Em decorrência disso, adotaram componentes que não eram exatamente aquilo que pretendiam no projeto.

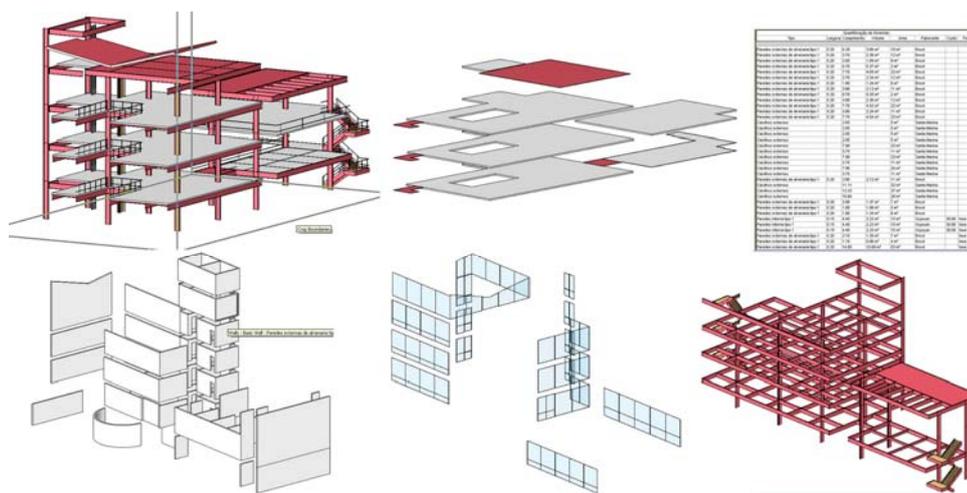


Figura 2 – Edifício 2-visualização dos elementos construtivos e tabela de quantificações.

Notamos claramente que as axonométricas seccionadas contribuíram muito mais do que os cortes em 2D. A somatória das múltiplas visualizações bi e tridimensionais contribuiu para aprofundar o conhecimento sobre o projeto realizado. O modelo 4D contribuiu para integrar aquilo que o rebatimento de planos das projeções ortogonais tradicionais – planta-corte-elevação – fragmentou. Desse modo o edifício é analisado como um organismo integral, onde pode-se visualizar dentro e fora simultaneamente, simular ao mesmo tempo aspectos técnicos, estéticos e perceptivos.

Na etapa final, além da aparência dos espaços, pôde-se analisar a viabilidade técnica da solução pretendida. Como os elementos construtivos carregam características e atributos do componente (que variam de acordo com cada componente, tais como dimensões, material, fabricante, volume, etc.), puderam ser comparadas diferentes propostas a partir das listagens obtidas em cada uma delas.

Na análise dos resultados obtidos, verificamos que os alunos entenderam que a construção virtual paramétrica por elementos construtivos nos programas BIM torna possível examinar, passo a passo, o desenho e a articulação entre componentes, ao mesmo tempo em que um banco de dados contendo a relação desses elementos, seus atributos e especificações vão sendo gerados. As plantas, cortes, elevações e perspectivas que foram gerados a partir de um mesmo modelo digital 3D facilitaram as discussões sobre o projeto, permitindo a compreensão tanto do que está sendo representado em duas dimensões como a visualização da seqüência de execução da obra.

Houve uma sensível melhoria na qualidade dos projetos, pois a compreensão do processo construtivo permitiu reduzir os erros de interpretação e articulação entre os elementos construtivos no espaço. Dos 12 alunos que participaram do processo, somente um teve maiores dificuldades e não conseguiu completar todos os projetos, especialmente pela falta raciocínio espacial e dificuldade de expressão por croquis. Apesar disso verificamos que a alternância entre o uso de croquis e do modelo BIM não obstrui as ações cognitivas de reconhecer, reestruturar e manipular problemas, ao contrário, estimula a experimentação e visualização integral do processo. O predomínio do pensamento divergente que atua na realização dos croquis imprecisos e ambíguos se complementa com o pensamento convergente no desenvolvimento do modelo digital preciso.

8. CONCLUSÕES FINAIS

A modelagem 4D permite integrar aquilo que atualmente está fragmentado nas projeções ortogonais 2D nos diferentes projetos estanques. A inclusão do BIM no ensino de arquitetura facilita a compreensão da articulação entre elementos construtivos do edifício, tornando mais clara e precisa a comunicação das informações e intenções projetuais. É fundamental compreender a função comunicativa das ferramentas manuais e digitais, assim como o momento mais adequado para usá-las dentro do processo de projeto. Portanto, o ensino do BIM dentro das Faculdades de Arquitetura permite: 1. Detalhar a integração entre os elementos construtivos dentro de um sistema construtivo; 2. Analisar a seqüência de atividades necessárias para a construção do edifício; 3. Compreender a importância de um projeto colaborativo; 4. Envolver-se mais com a tectônica; 5. Entender melhor a seqüência das operações que são realizadas pelos diversos profissionais no canteiro de obras; 6. Visualizar as relações espaciais entre elementos construtivos; 7. Comunicar melhor as intenções projetuais em três dimensões.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNSTEIN, Phillip G. "Barriers to the adoption of building information modeling in the building industry". **Autodesk Building Solutions**. White Paper, 2004. Disponível em <<http://www.autodesk.com/bim>>. Acessado em 12.09.2006.

CHENG, R. "Questioning the Role of BIM in Architectural education". **AECbytes Viewpoint #26**, July 6, 2006.

FISCHER, M. e KUNZ, J. "The Scope and Role of Information Technology in Construction". **CIFE Technical Report #156**, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University, February 2004. Disponível em: <<http://www.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/TR156.pdf>>. Acessado em setembro de 2005.

FLORIO, W. **O Uso de Ferramentas de Modelagem Vetorial na Concepção de uma Arquitetura de Formas Complexas**. São Paulo, 2005. 477p. Tese de Doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo FAUUSP, Universidade de São Paulo.

GERO, J. S. "Conceptual Designing as a Sequence of Situated-Act". In I. Smith (ed.) **AISE '98 – Artificial Intelligence in Structural Engineering**, p. 165-177, 1998.

GOEL, V. **Sketches of Thought**. Massachusetts: MIT Press, p.4, 1995.

GRAY, C. "Design Management – Experiences and Current Practices". **Anais NUTAU 2006: inovações tecnológicas e sustentabilidade**, cd-rom, 2006.

KALAY, Y. E. "The impact of information technology on design methods, products and practices". **Design Studies**, v. 27, p. 357-380, 2006.

KOO, B., FISCHER, M. "Feasibility study of 4DCAD in commercial construction". **Journal of construction Engineering and Management**, v. 126, p. 257-260, 2000.

OXMAN, R. "The thinking-eye: visual re-cognition in design emergence". **Design Studies**, v. 23, p. 135-164, 2002.

ROBERTS, H. W. "The Importance of Parametrics in Building Information Modeling". **AECbytes Viewpoint #5**, May 13, 2004.

SELETSKY, P. "Questioning the Role of BIM in Architectural education: A Counter-Viewpoint". **AECbytes Viewpoint #27**, August 31, 2006.

SCHÖN, D. **Educando o Profissional Reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem**. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, p. 31-39, 2000.

SUWA, M., PURCELL, T. e GERO, J. "Macroscopic analysis of design processes based on a scheme for coding designers' cognitive actions". **Design Studies**, v.19, p. 455-483, 1998.