Materialidade no projeto de Arquitetura

Materiality in Architectural design

Margarete Maria de Araújo Silva*
Mário Lúcio Pereira Júnior**
Roberto Eustaáquio dos Santos***

Resumo

O artigo descreve e apresenta as conclusões da pesquisa "Detalhamento construtivo de alvenarias com utilização de modelagem tridimensional informatizada". Discute o conceito de projeto no processo de produção de edifícios e sua contribuição enquanto instrumento definidor da qualidade final do objeto construído. Além disso, propõe a incorporação da modelagem tridimensional informatizada para o aprimoramento do processo de desenvolvimento de projetos.

Palavras-chave: Alvenaria; CAD; Componentes de alvenaria; Detalhamento construtivo; Metodologia de projeto; Modelagem tridimensional informatizada; Projeto de alvenaria; Projeto para produção.

Abstract

The article describes and presents the conclusions from the research "Masonry detailing by computer 3D models". It discusses the design concepts in building process and its contributions as a defining instrument towards the quality of the built object. It also proposes computerized 3D models as a feature to improve masonry design process.

Keywords: Masonry; CAD; Masonry components; Detailing; Design methodology; 3D modeling; Masonry design detailing; Production design.

* Professora do núcleo de tecnologia e do núcleo de urbanismo do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas e mestranda pela Escola Politécnica da USP, área de concentração Engenharia de Construção Civil.

** Professor do núcleo de representação gráfica do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas e mestrando pelo PPGEP da Universidade Federal de Santa Catarina, área de concentração Mídia e Conhecimento.

*** Professor do núcleo de projeto do curso de Arquitetura e Urbanismo da PUC Minas e mestrando pelo NPGAU da Escola de Arquitetura da UFMG.

Este artigo é fruto do trabalho de pesquisa "Detalhamento construtivo de alvenarias com utilização de modelagem tridimensional informatizada", desenvolvido durante o ano de 1999, com apoio do Fundo de Incentivo à Pesquisa – FIP – da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (FIP 99/11 – TLE). Visamos à discussão do conceito de projeto no processo de construção de edifícios na realidade brasileira atual, buscando analisar sua contribuição enquanto instrumento efetivamente definidor e regulador da qualidade final do objeto arquitetônico: o produto edifício.

Partimos da constatação de que vem ocorrendo uma freqüente e progressiva dissociação[1] entre o projeto e a produção dos edifícios propriamente dita, cujos reflexos têm sido a diminuição da eficácia do projeto enquanto instrumento de planejamento de ações e especificações de materiais e métodos para a execução da obra. O projeto tem-se esvaziado das questões afetas à sua própria materialidade. Não é difícil verificar que muitas das decisões que deveriam estar incorporadas na fase de projeto foram transferidas para a fase de construção dos edifícios e que aspectos materiais do construir, que deveriam orientar a idéia arquitetônica do edifício, estão fora das considerações de projeto. A naturalização do processo de retirada da instância de decisão sobre a materialidade do edifício, da fase de projeto em direção à fase de obra, está dialeticamente ligada à banalização da profissão de arquiteto, enquanto profissional responsável e habilitado a interferir, por meio dos projetos, na produção de edifícios.

[1] Essa dissociação é registrada a partir da definição do campo da arquitetura iniciado pelo projeto cultural renascentista e da separação entre os campos da arquitetura e da engenharia deflagrada nos séculos XVIII e XIX e consolidada no século XX. Apesar da grande importância do assunto para a compreensão das configurações atuais do campo da arquitetura e do campo da engenharia, sobretudo nos aspectos de racionalização de processos de projeto e processos construtivos, não constituiu foco de interesse principal para a pesquisa a descrição desse processo. Para maior detalhamento Cf. Wiebenson (1988); Hauser (1998); Silva (1991); Rykwert (1983); Pérez-Gómez (1983); Frampton (1993) e Picon (1988).

De fato, torna-se necessário resgatar o domínio da materialidade da arquitetura por parte do projeto, considerado enquanto uma "atividade ou serviço integrante do processo de construção, responsável pelo desenvolvimento, organização, registro e transmissão das características físicas e tecnológicas especificadas para uma obra, a serem consideradas na fase de execução" (Melhado, 1994). Trata-se, portanto, de restabelecer o conteúdo dos projetos, com base na ciência da edificação: construtibilidade, racionalização de processos construtivos, gestão da qualidade e evolução tecnológica do setor. Trata-se também de recuperar o poder de decisão sobre os processos de produção de edifícios mediante o conhecimento e a crítica dos processos construtivos.

Optamos pelos processos construtivos em alvenarias estruturais devido ao seu histórico de racionalização, uma vez que eles exigem, sob pena de comprometimento do seu potencial construtivo, um maior investimento nas fases de concepção do que os processos convencionais com estrutura de concreto e vedações. Com a utilização de modelagem tridimensional informatizada, objetivamos o aumento da qualidade de projeto devido à sua capacidade potencial de compatibilização de dados oriundos de diversas fontes,[2] permitindo a consideração simultânea dos diversos subsistemas de uma edificação, indicando as interferências mútuas e, em tese, possibilitando ajustes mais ágeis e eficazes que nos processos definidos em 2D.[3]

O detalhamento construtivo de alvenarias estruturais por meio da modelagem tridimensional de componentes em ambiente de computação gráfica foi considerado como um dos instrumentos da utilização racional desse processo construtivo. De modo específico, buscamos definir uma metodologia que contemplasse, também, a capacitação de mão-de-obra tanto para as atividades de concepção e desenvolvimento de projetos quanto para as de execução de obra. Além disso, a pesquisa visou à seleção do tipo de modelagem tridimensional mais adequado ao processo de projeto e à preparação do ambiente computacional.

A proposta foi estruturada em três fases: o modelo conceitual – fase de apuração e documentação da situação atual por meio de pesquisa de campo e de caracterização de metodologia de projeto para alvenarias modulares; a modelagem – fase de definição e criação de modelos computadorizados dos componentes construtivos, o que constituiu o produto-base trabalhado; e o ensaio – fase de análise e avaliação da adequação desses modelos em projeto.

[2] As principais fontes são chamadas projetos complementares (estrutural e instalações prediais e especiais), os *layouts* dos ambientes, memoriais descritivos e cadernos de especificações e encargos.

[3] Adotaremos a designação 2D para representações gráficas em duas dimensões e 3D para aquelas em três dimensões.

CARACTERIZAÇÃO DE PRODUTOS E DE PROFISSIONAIS

A pesquisa de campo envolveu fornecedores de componentes construtivos para produção de alvenarias, buscando descrever suas linhas de produtos e caracterizar sua forma de comercialização, e profissionais de projeto, objetivando identificar os serviços prestados e o tipo de orientação técnica fornecida aos clientes. Dessa forma, foi possível aferir a qualidade e a eficiência das linhas de produto face à racionalização dos processos construtivos, ao grau de informação técnica disponibilizada e à importância atribuída à racionalização dos processos construtivos dentro das empresas fabricantes de componentes. As entrevistas com os profissionais enfocaram os meios de concepção, de representação e o conteúdo técnico dos projetos; a forma de compatibilização entre o projeto arquitetônico e os projetos complementares; o conteúdo das especificações de materiais e de serviços; a descrição da metodologia empregada na produção do projeto; as formas de apropriação dos projetos nas obras, além de listar obras concluídas ou em execução para visitas.

ANÁLISE DOS PRODUTOS

A descrição dos produtos incluiu a composição material,[4] os aspectos dimensionais e as recomendações técnicas de utilização. Esses dados constituíram a base da análise de eficiência das linhas de produtos, que têm como critérios básicos a verificação das dimensões modulares e da geometria dos componentes e a disponibilidade de dados técnicos fornecidos a projetistas e clientes.

OS PROCESSOS DE PROJETO DE ALVENARIA

Para a análise de desempenho dos projetos de alvenaria foram utilizadas as informações obtidas pelas entrevistas. Posteriormente, foram visitadas obras em Belo Horizonte e São Paulo, buscando identificar a forma e a intensidade de utilização dos projetos nos canteiros de obras. A análise baseou-se na concepção, na representação gráfica e nos conteúdos técnicos dos projetos.

Como o detalhamento do sistema construtivo, de modo geral, não está contemplado nos projetos arquitetônicos e a opção pelo sistema construtivo em alvenaria estrutural é uma decisão tomada posteriormente, os projetos de alvenaria estrutural, em sua maioria, partem de projetos arquitetônicos incompletos para serem adaptados aos princípios básicos de racionalização, tais como: dimensio-

[4] Compareceram seis tipos de materiais: 1) sílico-calcáreo; 2) concreto celular autoclavado; 3) solo-cimento; 4) solo-cimento com adição de escória; 5) concreto; 6) cerâmica.

namento recomendado para modulação de vãos, previsão de juntas de controle, incorporação de instalações prediais e esquadrias, incorporação de armaduras de reforço, detalhamento da interface com o subsistema de vedações horizontais, descrição de materiais e técnicas de execução, entre outros. Dessa forma, o detalhamento e os ajustes de compatibilização para execução são feitos por profissionais contratados pelas empresas ou pelo cliente, para acrescentar as informações necessárias à execução, significando um custo adicional. Se, por um lado, essa prática caracteriza um despreparo do mercado para o emprego sistemático dos processos construtivos em alvenarias estruturais, por outro tem-se configurado como fator de viabilização de seu uso.

Essa característica do mercado reflete a baixa qualidade dos projetos executivos: esvaziados do conteúdo de especificações técnicas relativas ao processo construtivo de cada subsistema da edificação, têm, inclusive, sua redação técnica comprometida por abrigar incoerências e incompatibilidades entre as informações do projeto arquitetônico e as informações contidas nos projetos complementares e demais documentos de obra. As decisões relativas à exeqüibilidade do produto – ou seja, o "como, quando e com o quê" fazer – são transferidas para o canteiro de obras, recaindo em uma prática em que mestres e encarregados de obras assumem responsabilidades incompatíveis com sua capacitação e função. Cabe, portanto, reconceituar o papel do projeto tanto em termos técnicos quanto em termos estratégicos, uma vez que o esvaziamento de conteúdo técnico implica a abdicação do poder de decisão.

Os projetos analisados no âmbito da pesquisa demonstraram mais consistência de conteúdo técnico representado do que os projetos convencionais, tradicionalmente remetidos às obras. Observamos que tais práticas representam, hoje, custos e tempo adicionais à fase de desenvolvimento de projeto. Entretanto, esse ônus vem sendo assimilado pelas empresas construtoras como uma necessidade de racionalização de processos construtivos, implicando uma economia significativa nas fases posteriores de execução e aumento da qualidade do produto final, sobretudo, nos projetos e obras subseqüentes que venham a adotar os mesmos preceitos metodológicos.

Representação gráfica e conteúdo dos projetos de alvenaria

Em todos os projetos analisados, a representação gráfica adotada conjuga o uso de convenções gráficas clássicas com inovações adequadas à explicitação dos novos conteúdos. De forma geral, utilizam-se representações em planta, acrescidas de informações indicativas das interferências do subsistema de vedações verticais e instalações prediais. As representações em cortes longitudinal e transversal são abandonadas e substituídas por elevações das paredes, em sua totalidade ou em parte. A abordagem para utilização de ambientes computacionais é quase sempre a modelagem bidi-

mensional, representando plantas e elevações de forma desvinculada, sem utilizar o ambiente computacional plenipotenciariamente. Os conteúdos apresentados são:

- Planta de marcação – primeira fiada contendo a disposição dos componentes de alvenaria e a localização de furos para passagem de tubulações hidráulico-sanitárias, elétricas, telefonia etc.
- Planta de segunda fiada – evidenciando o aparelho e as amarrações, ou seja, a posição relativa entre componentes de alvenaria dos painéis e entre os próprios painéis; nos projetos que apresentam elevações de todas as paredes, pode-se abolir essa planta.
- Sistema de cotas acumuladas em relação a um eixo construtivo previamente estabelecido – esse sistema vem substituir os tradicionais sistemas de cotas relativas.
- Elevações de todas as paredes – essa prática substitui os cortes de emprego tradicional e incorporam a representação dos subsistemas de instalações prediais, esquadrias, armaduras de reforço, telas metálicas para solidarização de painéis etc.
- Detalhes construtivos típicos – vergas e contravergas, peitoris e pingadeiras, interface entre alvenaria e laje, caminhamento das tubulações, armaduras de reforço, solidarização de painéis, fixação de esquadrias, interface entre componentes pré-fabricados ou pré-moldados para escadas e rampas e alvenaria.
- Especificações de materiais e serviços – caracterização dos componentes de alvenaria (resistência à compressão, umidade e absorção, dimensões e geometria, tolerâncias dimensionais); especificação das argamassas de assentamento e dimensionamento das juntas (constituição e dosagem das argamassas, dimensionamento, geometria e tratamento das juntas de argamassa, processo de produção e de aplicação); planejamento das execuções das alvenarias (quantificação, constituição e seqüência de trabalhos das equipes de produção, procedimentos e ferramentas, movimentação e estocagem de materiais etc.);
- Programa de controle de qualidade das alvenarias – desde os procedimentos de recepção de materiais até a aprovação do produto final.

CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE PROJETO DE ALVENARIA

A definição de uma metodologia de detalhamento construtivo no projeto de alvenarias pretende indicar parâmetros, procedimentos e rotinas para utilização de ferramentas hoje disponíveis nos diversos *softwares* de CAD, um roteiro para o ensaio de modelagem. Partimos do princípio da utilização plena da modelagem tridimensional, em contrapartida àquelas identificadas durante a pesquisa.

O conceito baseia-se na construção virtual da alvenaria, como num jogo de montar, utilizando-se elementos sólidos tridimensionais previamente modelados à imagem dos componentes reais, apresentando geometria idêntica aos originais, com representação de cheios e vazios. O objetivo é permitir a manipulação simultânea de diversos pontos de vista do modelo, sejam esses coincidentes com a representação em planta, em elevação ou em perspectiva. Essas vistas são extraídas de um único objeto tridimensional e, conseqüentemente, alteradas de forma dinâmica dentro dos recursos dos *softwares* de CAD. Dessa forma, aumenta a capacidade de compatibilização – ajustes e resolução de problemas inerentes ao processo de projeto – da alvenaria com os outros subsistemas da edificação, por meio da ampliação da capacidade de visualização, o que traz um ganho de produtividade e precisão técnica.

A seguir, apresentaremos os passos para a confecção do projeto de alvenaria:

1. Recebimento do projeto arquitetônico:
   - Verificação do dimensionamento
   - Análise e definição dos parâmetros de projeto de alvenaria:
     - Definição dos componentes: fornecedor, características, modulação, tecnologia e particularidades construtivas, como juntas de movimentação, armaduras de reforço e telas metálicas, componentes pré-fabricados e pré-moldados.
     - Definição da interface com os demais subsistemas: vedação horizontal, esquadrias e instalações.
   - Eliminação das informações desnecessárias nos desenhos fornecidos.
   - Organização da informação: manejo dos *layers*.
2. Preparação dos modelos blocos (símbolos) dos componentes:
   - Utilização do arquivo protótipo (*template*) com os blocos de componentes disponíveis para fabricantes já modelados, ou
   - Modelagem 3D dos componentes de fabricantes ainda não trabalhados e sua inserção no protótipo.
3. Identificação gráfica dos componentes
4. Compatibilização com os projetos de instalações:
   - Inserção da tubulação e componentes 3D.
5. Inserção dos componentes da alvenaria (blocos) por cópia seriada[5] em 3D, observando-se os *layers* correspondentes, de acordo com as fiadas e os painéis:
   - Inserção de toda a primeira fiada, observando-se:
     - A utilização do maior número possível de componentes inteiros.
     - Solução dos encontros e cruzamentos de painéis.

[5] Cópias múltiplas de um objeto seguindo um padrão de distância – comando *array* no *AutoCAD*.

- Passagem dos dutos de instalações.
- Particularidades construtivas.

- Inserção de toda a segunda fiada com os mesmos cuidados da primeira.
- Inserção das demais fiadas, observando-se:
  - Um painel por vez.
  - Inserção por cópias seriadas[6] na altura, derivando-se as fiadas ímpares da primeira fiada e as pares da segunda fiada.
  - Substituição de componentes, buscando-se a solução para cada painel: aberturas dos vãos, vergas, contravergas, fiada de cintamento, incorporação de componentes de instalações.
  - Compatibilização entre painéis.

6. Montagem da apresentação técnica:
   - Montagem dos formatos.
   - Distribuição das vistas:
     - Planta de primeira fiada – marcação de dutos hidráulicos.
     - Planta de segunda fiada – marcação de dutos elétricos.
     - Planta de fiadas atípicas – marcação de dutos elétricos na sexta fiada.
     - Elevações de cada painel (parede).
     - Detalhes construtivos em perspectiva, típicos e atípicos.
     - Cortes – modulação vertical.
   - Lançamento das cotas acumuladas a partir de dois eixos criados arbitrariamente.
   - Marcação de pendências, alterações e revisões.

MODELAGEM

Optamos por não utilizar aplicativos ou rotinas personalizadas, com recurso de programação, pois o objetivo da metodologia de projeto inclui a democratização e a disseminação do seu uso. A utilização de recursos de *software* específicos e personalizados para o projeto pressupõe sua distribuição e treinamento, o que dificultaria o uso mais extensivo da metodologia e dos conceitos a ela vinculados. A ênfase está em explorar as potencialidades das ferramentas nativas disponíveis nos *softwares* escolhidos, o que representa, se utilizadas de forma sistematizada, um grande avanço, comparado aos resultados obtidos na pesquisa de campo, que verificou a freqüência com que ferramentas disponíveis nos *softwares* deixam de ser utilizadas por falta de sistematização do trabalho, como, por exemplo, a própria modelagem tridimensional.

[6] Comando 3D *array* do *AutoCAD*.

Essas ferramentas convergem para os princípios que definem o tipo de modelagem escolhida, com o objetivo de possibilitar o emprego da metodologia desenvolvida:

- Modelagem sólida – significa a criação e a edição de objetos sólidos tridimensionais. Esse tipo de modelagem vem sendo bastante difundido em substituição às outras formas de modelagem em 3D, geradas a partir de superfícies, malhas ou arestas, devido ao seu adequado embasamento lógico e matemático. Ela traz como conceito a representação, o cálculo e a interpretação do volume total do objeto como forma sólida, permitindo a construção de objetos por meio do uso de formas primitivas,[7] de extrusão e de revolução, bem como a edição através de operações boolianas,[8] arredondamento e chanfrado. A modelagem sólida já necessitou de muito mais poder computacional do que o disponível na maioria dos computadores pessoais. Entretanto, os componentes de *hardware* dos microcomputadores atuais já são suficientes para seu desenvolvimento.
- Modelagem por pavimento, por painel, por fiada em arquivo único – as ferramentas de organização de objetos, como os *layers* e filtros de *layers*,[9] permitem a modelagem dos diversos pavimentos e painéis num mesmo arquivo, facilitando o trabalho integrado, a compatibilização, ajustes e resolução de problemas, com a manipulação simultânea dos painéis e fiadas, cuja visibilidade é controlada de acordo com o momento e a necessidade.
- Utilização de componentes pré-modelados – a possibilidade de criação e inserção de símbolos (blocos) e sua disponibilização em bibliotecas, e o uso de arquivos de gabarito ou protótipo (*template*), com as configurações já disponíveis para aplicações específicas, permitem que os componentes da alvenaria sejam modelados antes do início do projeto e disponibilizados para projetos futuros que venham a utilizar os mesmos componentes.
- Estruturação dos formatos – a utilização de diferentes ambientes de exibição[10] permite a execução da modelagem da alvenaria de forma independente da confecção do *layout* dos formatos para impressão. Dessa forma, embora a concepção do projeto se dê num ambiente com recursos mais arrojados, a linguagem convencional pode ser dele extraída.
- Modelagem em escala natural e com precisão – as definições relativas à escala, unidade, coordenadas, malhas (*grid*) e efeito magnético (*snap*) permitem o trabalho com precisão, princípio fundamental no projeto de alvenaria.

[7] Formas básicas como paralelepípedos, cilindros, esferas, cones, prismas, pirâmides, cunhas e toros.
[8] Operações de composição: interseção, subtração e união (George Boole – século XIX).
[9] Ferramenta que permite localizar e isolar as camadas seguindo diversos critérios, entre eles prefixos ou sufixos de seus nomes, facilitando o gerenciamento de grandes listas de camadas.
[10] No *AutoCAD*: *Model Space* e *Paper Space*.

PREPARAÇÃO DO AMBIENTE COMPUTACIONAL

Para a implementação da modelagem definida anteriormente foram escolhidos a plataforma PC e o sistema operacional *Windows* 95/98. Essa escolha deve-se, principalmente, à diversidade e disponibilidade de plataformas de *hardware* PC e *Windows* compatíveis, considerando o universo dos microcomputadores instalados tanto no país quanto na PUC Minas, e a interface com o usuário estável, amplamente conhecida, utilizada e documentada. O microcomputador utilizado tem a seguinte configuração: IBM PC 300GL, processador *Pentium II* 300 MHz, memória *RAM* de 64 Mbytes, disco rígido de 3.2 Gbytes, memória *cache* de 512 Kbytes, disco removível *Iomega Zip Drive* de 100 Mbytes e sistema operacional *Windows 95*.

Consideramos, para a seleção do programa gráfico a ser utilizado, as características da modelagem tridimensional definida anteriormente, incluindo a geração de modelos 2D e 3D com precisão, e o grau de utilização no mercado, envolvendo os aspectos de disponibilidade, influência, número de usuários e documentação. Após a análise de alguns *softwares* entre os mais conhecidos, optamos pela utilização do *AutoCAD*[11] *Release 14.01* (na versão *Architectural Desktop*)[12] da *Autodesk*, devido à sua consolidada participação no mercado e às características de suas ferramentas, compatíveis com o desenvolvimento da metodologia proposta.

A preparação do ambiente computacional envolveu a definição do trabalho de modelagem na unidade centímetros em escala natural e a criação do arquivo de protótipo geral contendo:

- Configuração das ferramentas de auxílio de desenho: malha (*grid*) de 100 cm e efeito magnético (*snap*) de 1 cm (menor dimensão do projeto piloto);
- Configuração dos estilos de texto;
- Configuração dos estilos de cota, divididos em dois grupos: as cotas convencionais e as cotas acumuladas;
- Criação dos *layers*, dois para cada painel, sendo um para fiada ímpar e outro para fiada par, identificando o pavimento. Assim, com o uso dos filtros de *layers*, pode-se controlar a visibilidade por pavimento, por painel e/ou por fiada.

Foram escolhidos cinco fornecedores para a criação de modelos sólidos de componentes: Blokret, Calblock, Glasser, Prensil e Valemix. A escolha baseou-se

[11] O *AutoCAD* tornou-se um padrão para projetos de engenharia e arquitetura, principalmente para projetos executivos, e um dos programas mais influentes na área de *CAD*. É hoje o programa mais utilizado no Brasil, na plataforma PC, para projetos genéricos de arquitetura e para projetos de alvenaria.

[12] Não foram utilizadas as ferramentas próprias do *Architectural Desktop* devido aos pressupostos citados no item Modelagem.

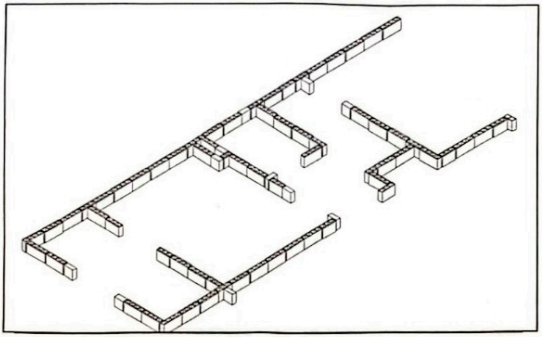
na disponibilidade de informações sobre a geometria e as dimensões dos componentes, bem como da análise do desempenho de cada um. Os modelos foram preparados de acordo com os seguintes passos e critérios:

- Criação de cinco arquivos de protótipo, em separado, para cada um dos fabricantes selecionados, a partir do protótipo geral, contendo:
  - Modelagem dos diversos componentes da linha de produtos, utilizando extrusão sólida de polilinhas (*extrude*); primitivas sólidas; operações boolianas (*union, subtract, intersection*); arredondamentos (*fillet*) e chanfrados (*chamfer*); divisão ou corte de sólidos (*slice*);
  - Criação de blocos (*block*) de cada componente modelado, com a devida identificação.

Cada um desses arquivos pode ser usado como modelo para o início de um projeto, de acordo com o fabricante escolhido, possuindo uma biblioteca dos componentes já disponível para ser inserida.

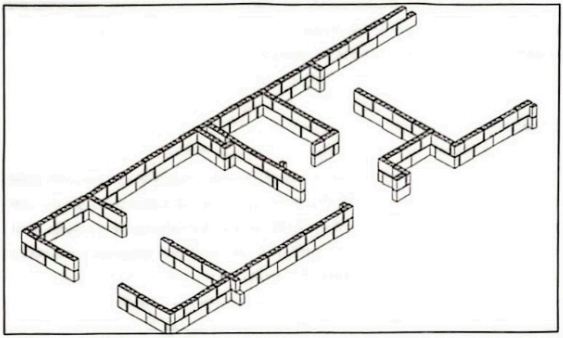
ENSAIO

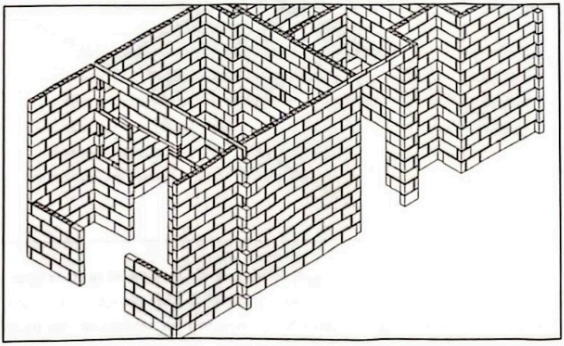
O projeto de alvenaria piloto, cuja elaboração visou à avaliação da metodologia de projeto e da modelagem desenvolvidas, foi produzido a partir de um projeto arquitetônico existente, para o qual já havia sido produzido um projeto de alvenaria com utilização de recursos em 2D. Assim, pudemos estabelecer uma comparação direta entre as duas formas de produção.



A utilização de componentes modelados em 3D mostrou-se muito eficiente na concepção do projeto de alvenaria. A possibilidade de visualização e manipulação simultâneas em planta, elevação e perspectiva em um modelo 3D único

permitiram a aplicação dos conceitos básicos de engendramento de componentes, assim como a sua verificação de coerência imediata. Além disso, a simulação das condições reais de encontro e amarração de paredes, de aberturas de esquadrias, vergas e contravergas e da interface com os subsistemas estrutural e de instalações prediais facilitou a evolução do projeto e a resolução de problemas. E mais, a inserção e a edição dos componentes nas diversas vistas, de forma automática, facilitaram significativamente o manejo do programa. É possível iniciar a operação de inserção ou a de edição de um componente numa vista, como a de planta, e terminá-la na de elevação, por exemplo. Qualquer alteração numa das vistas leva automaticamente a uma alteração nas outras.





A modelagem sólida mostrou-se especialmente eficaz na fase de construção dos modelos dos componentes, devido à facilidade de edição, e também na compatibilização entre alvenaria e subsistema de instalações, uma vez que os componentes foram produzidos segundo um modelo real em termos geométricos e dimensionais.

A organização das informações por pavimento, por painel e por fiadas, por meio dos *layers*, foi fundamental para a obtenção de visualizações específicas, de acordo com o trabalho a ser desenvolvido em cada momento. A forma da organização foi essencial para concentrar o modelo em um arquivo único. Embora tenha gerado um grande número de *layers*, a manipulação tornou-se possível e facilitada com a utilização dos filtros de *layers*. Também a inserção dos componentes pré-modelados, disponíveis nas bibliotecas, e a aplicação por cópias seriadas mostrou-se bastante eficiente, correspondendo às expectativas e confirmando o pressuposto de que não se faz necessária a automatização desse procedimento via programação.

Pudemos verificar o melhor desempenho na produção do projeto-piloto usando a modelagem 3D desenvolvida pela pesquisa, se comparada com os procedimentos que fazem uso da modelagem 2D, em que se trabalham arquivos distintos para plantas e elevações. De fato, a modelagem 3D elimina o ir e vir entre desenhos estanques para trabalhar de forma concentrada em um arquivo único, reduzindo a probabilidade de erros e incompatibilidades, além de acelerar o tempo de produção. O desempenho do sistema computacional é o único item que pode vir a comprometer a modelagem 3D, embora o equipamento utilizado no ensaio tenha respondido satisfatoriamente.

CONCLUSÃO

Para compreender o significado do projeto de alvenarias no âmbito da comunidade construtora, entendida aqui como a reunião de todos os agentes envolvidos e todas as formas de organização da construção civil no contexto social, é importante enfatizar as suas três formas de organização: o setor formal – representado pelas empresas de projeto e as empresas construtoras; o setor informal – que envolve profissionais autônomos sem firmas legalizadas e sem empregados regulares e fichados; o setor da autoconstrução – o dos mutirões autogeridos, de caráter híbrido, uma vez que conjugam aspectos formais de projeto de assessoria técnica em canteiro e aspectos informais, representados pela experiência e tradição em autoconstrução.

Esse quadro vasto e complexo remete à pergunta: que tipo de indústria é a da construção civil? A resposta a essa pergunta não é fácil. Cumpre à comunidade construtora, e nela inclui-se a Universidade, atentar para a complexidade desse campo e, por meio da pesquisa e do contato com essas realidades, propor ferramentas de análise e soluções adequadas a cada setor.

Além das formas de organização, estão envolvidos na questão outros tópicos que interferem na comunidade construtora:[13]

- conceitos históricos da ciência do construir;
- análise das sensações provocadas pelos edifícios;
- análise energética;
- engenharia dos edifícios (projetos complementares e sua compatibilização);[14]
- patologias dos edifícios e suas lições;
- indústria produtora de materiais e componentes para a construção;
- sistemas e convenções de representação gráfica de projetos;
- racionalização dos processos construtivos convencionais;
- inovação e transferência de tecnologia;
- capacitação de mão-de-obra.

A pesquisa abordou apenas os aspectos referentes à indústria produtora de componentes de alvenaria – tijolos e blocos –, às formas de concepção e representação com a utilização do ambiente computacional e ainda à capacitação de mão-de-obra ao incorporar os conceitos de concepção de projetos de alvenaria estrutural. Quanto aos aspectos relativos à produção de materiais e componentes, abre-se um campo de investigação que aponta para a necessidade de uma transformação profunda de seu papel ante a comunidade construtora. Temos mais perguntas que respostas:

- Quem determina o processo de produção na construção civil? Os projetos? Os processos construtivos? Ou a disponibilidade de materiais e componentes adequados à racionalização desse processo?
- Como racionalizar os processos construtivos tradicionais?
- Como sensibilizar a indústria de materiais e componentes para o problema da racionalização?

Verificamos, como apontam os resultados da pesquisa com fornecedores, que a maioria das empresas produtoras de componentes de alvenaria não se preocupa, só para citar um exemplo, com os conceitos de modulação e correção dimensional de seus produtos, apresentando linhas de produtos incompletas e pouco versáteis na produção dos *aparelhos* de alvenaria. Tampouco preocupam-se com o assessoramento técnico de aplicação de seus produtos durante as fases de projeto e obra. De modo geral, não demonstram sensibilidade em relação ao universo em que estão inseridas, parecendo movidas apenas pela lógica imediatista de mercado.

Consideramos que o desenho, a representação gráfica correta e completa do processo de construção do edifício é a ferramenta mais poderosa tanto no processo de concepção quanto na execução, pois é o veículo de comunicação entre a

[13] Cf. Groak (1994). Nesse texto, o autor apresenta uma matriz de análise de edifícios sob o viés da construção. Essa matriz foi parcialmente aproveitada na enumeração dos tópicos acima.

[14] Conceito de projeto de produção

concepção e a obra. Na representação fundem-se o conteúdo técnico que incorpora a solução adequada aos requisitos – aspectos técnicos qualitativos – e os critérios – aspectos técnicos quantitativos – demandados pelo problema de projeto com a redação técnica correta e legível, sendo, portanto, alvo de nosso interesse. Entretanto, ativemo-nos ao processo de concepção e à metodologia de representação, sem entrar nos aspectos de aplicação e recepção dos desenhos em obra.

Embora nossa contribuição seja diminuta diante da constelação de problemas que o campo apresenta, ambicionamos instituir uma relação estreita entre concepção de projetos e canteiro de obras, e ainda sensibilizar os agentes da comunidade construtora para a necessidade de racionalização de seus processos de produção. No âmbito específico da pesquisa, apontamos as seguintes conclusões:

- Confirmou-se a consolidação de novas formas de representação do projeto de alvenaria, em substituição às formas de representação convencionais. Isso demonstra uma maior preocupação com o rigor na aplicação dos conceitos fundamentais da alvenaria estrutural, na forma de documentos técnicos com conteúdos suficientes e representação clara, o que constitui o arcabouço para a implantação da racionalização dos processos construtivos;
- A utilização de componentes modelados em ambiente computacional mostrou-se muito eficiente na concepção de projetos, quando comparada às formas identificadas pela pesquisa. A possibilidade de visualização simultânea em planta, elevação e perspectiva facilita a aplicação dos conceitos básicos de produção de componentes e a verificação de coerência imediata. É possível simular, de fato, todas as condições reais de encontro e amarração de paredes, lançamento de aberturas e a interface com as vedações horizontais e instalações prediais;
- A versatilidade do processo indica, também, a possibilidade de o projeto de alvenaria tornar-se a ferramenta de trabalho para o chamado projeto de produção,[15] uma vez que constitui uma instância em que todos os subsistemas podem ser testados e compatibilizados.

Como desdobramentos desta pesquisa, podem ser objetos de novos estudos: a preparação de uma apresentação multimídia informatizada para capacitação e treinamento de mão-de-obra; a verificação da metodologia desenvolvida em outros ambientes computacionais; a ampliação dos estudos para aplicação em alvenarias de vedação em processos construtivos convencionais; estudos de novos *designs* de componentes e de coordenação modular.

[15] A noção de projeto de produção ultrapassa a questão de projetos concebidos como conceitos apenas, para incorporar os processos de produção do objeto. "Um projeto é um plano para fazer algo. É pensar antes de fazer, é planejar o que e como fazer, em uma etapa que antecede a execução de alguma coisa. É tomar decisões previamente, e não no momento da execução. Um projeto para produção nada mais é do que pensar e planejar como fazer antes de fazer algo e complementa um projeto que define o que deve ser feito". (sic) Cf. Sabbatini *et al.* (1998)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, M. M. S. B. O processo de produção das alvenarias racionalizadas. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS, 1. Anais... São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.

FARAH, Marta Ferreira Santos. Tecnologia, processo de trabalho e construção habitacional. São Paulo, 1992. 297f. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. (Tese, Doutorado).

FRAMPTON, Keneth. História crítica de la arquitectura moderna. Barcelona: Gustavo Gilli, 1993.

FRANCO, Luiz Sérgio. O desempenho estrutural e a deformabilidade das vedações verticais. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS, 1. Anais... São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.

_____. O projeto das vedações verticais: características e a importância para a racionalização do processo de produção. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS, 1. Anais... São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.

GROAK, Steven. The idea of building. London: E&FN Spon, 1994.

HAUSER, Arnold. História social da arte e da literatura. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Programa de atualização tecnológica industrial (PATI): construção habitacional. São Paulo: IPT/Divisão de Economia e Engenharia de Sistemas, 1988. 85p.

MELHADO, Silvio Burratino. Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994. (Tese, Doutorado).

_____, AGOPYAN, V. O conceito de projeto na construção de edifícios: diretrizes para sua elaboração e controle. São Paulo: EPUSP, 1995. 20p.

PÉREZ-GÓMEZ, Alberto. Architecture and the crisis of modern science. Cambridge: The MIT Press, 1983.

PICON, Antoine. French architects and engineers in the age of enlightment. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.

REIS FILHO, N. G. Quadro da arquitetura no Brasil. São Paulo: Perspectiva, 1978.

ROSSO, Teodoro. Racionalização da construção. São Paulo: FAU/USP, 1980.

RYKWERT, Joseph. The first moderns. Cambridge: The MIT Press, 1983.

SABBATINI, Fernando H. A industrialização e o processo de produção de vedações: utopia ou elemento de competitividade industrial?. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS, 1. Anais... São Paulo: EPUSP/PCC, 1998.

_____. Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1989. (Tese, Doutorado).

_____. *et al.* Recomendações para o projeto construtivo das paredes de vedação em alvenaria: procedimentos para elaboração e padrão de apresentação. São Paulo: EPUSP-PCC, 1991.

_____. *et al.* **Recomendações para a construção de paredes de alvenaria**. São Paulo: EPUSP-PCC, 1988.

_____. Interação Alvenaria/Estrutura. In: CONGRESSO DE MATERIAIS E TECNOLOGIA DA CONSTRUÇÃO. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 1997.

SEMINÁRIO INTERNACIONAL GESTÃO E TECNOLOGIA NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS. **Anais**... São Paulo, EPUSP/PCC, 1997.

SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS: VEDAÇÕES VERTICAIS. **Anais**... São Paulo, EPUSP/PCC, 1998.

SILVA, Elvan. **A forma e a fórmula**: cultura, ideologia e projeto na arquitetura da renascença. Porto Alegre: Sagra, 1991.

TELLES, Pedro C. da Silva. **História da engenharia no Brasil**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

VARGAS, Milton. **Para uma filosofia da tecnologia**. São Paulo: Alfa Omega, 1994.

WIEBENSON, Dora (Coord.). **Los tratados de arquitectura**: de Alberti a Ledoux. Madrid: Blume, 1988.

Endereço para correspondência:
Margarete Maria de Araújo Silva
Rua Paraíba, 650, apto. 201 – Funcionários
30130-141 – Belo Horizonte – MG
e-mail: leta@pucminas.br/Leta.lais@terra.com.br

Mário Lúcio Pereira Júnior
Rua Deputado José Raimundo, 650, apto. 201 – Dona Clara
31260-150 – Belo Horizonte – MG
e-mail: mariopereirajr@aol.com

Roberto Eustáquio dos Santos
Rua República Argentina, 608, apto. 304 – Sion
30315-490 – Belo Horizonte – MG
e-mail: ro@pucminas.br