



Automatizando o projeto de alvenaria racionalizada

Levi Teixeira Pinheiro,
Daniel Ribeiro Cardoso,
Alexandre Araújo Bertinio

Como citar esse texto: PINHEIRO, L.T.; CARDOSO, D.R.; BERTINIO, A.A. Automatizando o projeto de alvenaria racionalizada. **VIRUS**, São Carlos, n. 11, 2015. [online] Disponível em: <<http://www.nomads.usp.br/virus/virus11/?sec=4&item=7&lang=pt>>. Acesso em: dd mm aaaa.

Levi Teixeira Pinheiro é Arquiteto e Urbanista, professor titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Cratêus. Pesquisador no Programa de Pós-graduação de Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal do Ceará, onde desenvolve pesquisas em automação do projeto de alvenaria a partir do método *building object behavior*.

Alexandre Araújo Bertinio é Doutor em Engenharia Civil, professor adjunto do Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil na Universidade Federal do Ceará. Tem experiência em sistema construtivo, alvenaria estrutural, e desempenho de edificações.

Daniel Ribeiro Cardoso é Arquiteto e Doutor em Comunicação e Semiótica, professor e pesquisador do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Ceará. Desenvolve pesquisas em processos contemporâneos de projeto no *Design*, Arquitetura e Urbanismo, e Modelagem da Informação na Construção (BIM).

RESUMO

A presente pesquisa tem por objetivo desenvolver um diagrama que sirva como base para automação de projeto de alvenaria racionalizada em qualquer plataforma BIM, visando desenvolver processos de maior eficiência computacional. A investigação adotou o método *building object behavior* (BOB), desenvolvido pelo grupo de pesquisa formado por *Chang Lee, Rafael Sacks e Charles Eastman* no período de 2001 a 2004, em universidades dos Estados Unidos e Israel, em consórcio com empresas norte-americanas de concreto armado. O método se enquadra na estratégia de pesquisa *design science*. O processo de desenvolvimento do trabalho se deu em quatro etapas: fase de elucidação, fase de design, fase de validação e implementação. Ao longo da pesquisa verificou-se a existência de duas possibilidades de diagramas: a primeira proposta por nós e a segunda proposta por Monteiro (2011). Desenvolvemos as duas possibilidades, e a nossa demonstrou melhor eficiência computacional. Assim, ao fim do trabalho, conseguimos gerar os diagramas previstos e propor um diagrama que apresenta melhor eficiência computacional quando comparada a trabalhos anteriores.

PALAVRAS-CHAVE

parametrização, BIM, projeto de alvenaria, automação do design.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho é fruto de uma dissertação de mestrado na Universidade de Federal do Ceará (UFC) em fase de desenvolvimento. A mesma também está inserida no projeto de pesquisa "Desenvolvimento de um Sistema Integrador (software) para Projeto e Execução de Sistemas Construtivos em Alvenaria Coordenada Modularmente" (SISMOD). O projeto é realizado em rede com outras universidades brasileiras, incluindo a Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e financiado pela Finep.

A construção civil brasileira, por ser um processo construtivo ainda muito artesanal, apresenta graves problemas no método e na forma de produção, além de possuir falha no fluxo de informações (ADDOR et al., 2010). Dentre os caminhos para aperfeiçoar o processo construtivo, tem-se a industrialização e a racionalização. No caso da coordenação modular, o PPVVA (Projeto para Produção de Vedação Verticais em Alvenaria) apresenta algumas ferramentas possíveis para estas finalidades (GREVEN, 2007; MONTEIRO, 2011). Já a falha no fluxo de informações, pode ser solucionada com a adoção do sistema BIM, *Building Information Modelling* (MÜLLER, 2010).

Os primeiros impulsos de racionalização da construção civil no Brasil ocorreram na década de 1970 com a produção de diversas normas vinculadas a coordenação modular, em sua maioria aplicada a alvenaria (SILVA, 2003). A racionalização da alvenaria é de suma importância, pois além de ser o sistema construtivo mais difundido no Brasil, faz interfaces com vários subsistemas, como estrutural, hidráulico e elétrico (PEÑA; FRANCO, 2006). Em 1980, tem-se a introdução no mercado brasileiro do PPVVA, que visa otimizar a compatibilização da alvenaria com os diversos subsistemas que interagem com ele, como instalações e estruturas (FERREIRA; SANTOS, 2008). Apesar desses esforços, Sabattini (1989), no final da década de 1980, apontava que o desempenho da construção civil ainda se apresentava muito ruim em termos de produtividade e desperdício de materiais. No início dos anos 2000, observa-se um maior investimento das construtoras em projetos de alvenaria de vedação racionalizada, em busca da redução de custos para construção.

O conceito de BIM existe desde a década de 1960, porém, devido a ausência de computadores eficientes, o mesmo só se tornou disponível no mercado em meados dos anos 1990 (AYRES, 2009). A plataforma BIM tem como base as tecnologias de parametrização que por meio de objetos paramétricos, isto é, objetos com rica semântica, permitem o gerenciamento e ordenamento de dados aplicados às fases de ciclo de vida de um edifício (SUCCAR, 2010). A partir dessas ferramentas o sistema permite com facilidade identificar incompatibilidades de projetos, extrair quantitativos automáticos e gerar instanciações do modelo 2D e 3D (ARAYICI et al., 2011). Porém, os softwares BIM, em geral, não atendem as necessidades específicas de cada projetista, logo, a maioria das plataformas permite a sua customização (SACKS et al., 2004). Assim, em nível internacional e nacional, verifica-se a produção de trabalhos de customização de plataformas BIM para automação de design.

Em nível internacional, nota-se grande produção de pesquisas geradas a partir do convênio entre empresas norte americanas de concreto armado e as universidades: Georgia Institute, norte americana, e Israel Institute of Technology, israelita. A parceria denominada "*Design and Engineering Software Platform*" (PCSC), desenvolvida no período de 2001 a 2004, gerou métodos de automação do *design* como *building object behavior (BOB)*, *description notation and method* e o *Georgia Tech Process to Product Modeling (GTPPM)* (LEE et al., 2005).

O método BOB consiste em um tipo de escrita abreviada para descrever o comportamento de objetos paramétricos e sua relação com outros objetos; já o GTPPM é um método para traduzir para uma linguagem computacional o comportamento deste objetos. Dentre os pesquisadores envolvidos, destacam-se Rafael Sacks, Charles Eastman e Chang Lee, os dois primeiros são responsáveis pelo desenvolvimento do livro *BIM Hand Book*, publicado em 2005, documento que compila o estado da arte do BIM e apresenta-se como um guia para sua implementação (EASTMAN et al., 2008). Podem também ser citados trabalhos de Cavieres et

al (2009), pesquisador do *Georgia Institute*, que aplicou o método BOB na automação de projetos de alvenaria estrutural.

Em nível nacional, temos destaque para trabalhos de customização de softwares BIM, porém poucos se destacam na área de automação de design, por exemplo: Ayres (2009) e Monteiro (2011) (CHECUCCI et al., 2011), e Romcy (2012). Desenvolvendo trabalhos de forma independente e em universidades distintas, que abordam o tema automação de sistemas construtivos modulares, tendo como base a gramática da forma e modelagem paramétrica, sem utilizar ou fazer referência ao método BOB.

Ao observamos trabalhos já desenvolvidos no Brasil, vemos algumas funcionalidades de automação do projeto de alvenaria que podem ser otimizadas pelo método BOB. Logo, a presente pesquisa tem por objetivo desenvolver um diagrama que sirva como base para automação de projeto de alvenaria racionalizada em qualquer plataforma BIM, visando processos de maior eficiência computacional. O foco da automação é gerar paginação automática de paredes com esquadrias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A automação do design aplicado a plataformas BIM pode ser desenvolvida por vários métodos tendo como base a modelagem paramétrica. Nos trabalhos de Lee (2005) e Cavieres (2009) temos a automação de peças de um sistema de concreto armado utilizando-se do método BOB e a modelagem paramétrica. Já os trabalhos de Romcy (2012) e Monteiro (2011) geram automação de alvenarias racionalizadas a partir da gramática da forma e a modelagem paramétrica.

A gramática da forma surgiu como um sistema de geração de formas para a pintura e a escultura, por meio de regras de composição, e se enquadra na área do conhecimento denominada *design computing* ou *design* computacional. O termo *computing* não quer dizer necessariamente aplicação direta em aplicativos computacionais, mas sim a qualquer tipo de processamento de informações. No entanto, muitos pesquisadores estudam o desenvolvimento de aplicativos para automação da gramática da forma. Atualmente, a mesma vem sendo aplicada em sistema de geração de formas arquitetônicas (CELANI et al., 2007). Dentre os elementos que compõe a gramática da forma, tem-se: o vocabulário de formas, relações espaciais, regras e a forma inicial (MONTEIRO, 2011).

Por outro lado, as tecnologias atuais de modelagem paramétrica permitem uma melhor ligação entre funcionalidade do projeto e da geometria do que a gramática da forma (CAVIERES, 2009). A modelagem paramétrica é uma representação computacional de um objeto virtual construído a partir de atributos. Os atributos podem ser fixos, quando não sofrem modificações ou variáveis, quando são representadas por meio de parâmetros e regras, que permitem ajustes automáticos dos objetos de acordo com o controle do usuário e a mudança de contexto (ANDRADE, RUSCHEL, 2009). Logo, se compreende que os objetos têm de ser modelados, não só pela forma geométrica, mas como unidades de informação que contém relações semânticas específicas no âmbito do seu domínio (SACKS et al., 2003).

A modelagem paramétrica é um método ambíguo e complexo, pois o objeto paramétrico pode ser desenvolvido por vários caminhos, sendo sempre melhor aquele que gera o menor processamento de dados para o sistema computacional. A sua complexidade ocorre, pois, o número e as possibilidades dos parâmetros e restrições crescem exponencialmente quanto mais componentes construtivos são considerados. Além disso, a modelagem paramétrica ainda requer um processo de pensamento algorítmico e matemático (ou programação), mesmo que ele não requeira de fato a utilização de uma linguagem de programação (LEE et al., 2005).

Segundo Sacks et al (2003), há três rotinas possíveis de automação para um objeto paramétrico. O primeiro é o projeto de peças e conexões, compreendida como a geração

V!RUS 11

É parametrização, baby!

revista do nomads.usp | nomads.usp jornal
issn 2175-974x | CC BY-NC
www.nomads.usp.br/virus | vnomads@sc.usp.br

automática de peças individuais e suas conexões a partir da alimentação de parâmetros. Depois a decomposição edílica em camadas agrupadas, que consiste em um ajuste automático do objeto quando no mesmo é alterado algum parâmetro, como mudança de carga ou de dimensão. Por fim, geração de *layout* baseado no conhecimento, onde um sistema construtivo, como paginação de alvenaria ou a estrutura de um edifício, podem ser gerados automaticamente após serem alimentados por parâmetros.

O método BOB foi desenvolvido dentro do consórcio de pesquisadores e empresas norte-americanas de concreto armado, surgindo devido à necessidade de alimentar e atualizar constantemente uma biblioteca de objetos paramétricos de peças de concreto armado de forma colaborativa. O mesmo pode ser compreendido como uma escrita abreviada e um protocolo para descrição das definições e comportamento de objetos paramétricos em um formato reutilizável e compartilhável (LEE et al., 2005). As formas de representação do método BOB são os desenhos técnicos como projeções ortogonais em duas dimensões ou perspectivas em três dimensões, porém, as suas representações não carecem de precisão nas fases iniciais. Apenas as relações e comportamento entre os componentes do sistema que são importantes de serem capturadas e comunicadas claramente. A precisão geométrica será determinada durante a modelagem definitiva do objeto. Os comportamentos considerados são os quatro tipos primitivos: fixar, rotacionar, traslar e remodelar. Já as relações especiais com outros componentes podem ser de alinhamento, igual espaçamento, horizontal e restrição normal (CAVIERES, 2009).

3. Método

A presente pesquisa utiliza o método de notação e descrição *BOB* desenvolvido por Lee et al (2005), que se enquadra na estratégia de pesquisa *design science* que, diferente da ciência convencional, não se descobre nada novo, e sim, se produz algo novo. No caso, um artefato que visa resolver problemas enfrentados no mundo real, cuja sua contribuição teórica ocorre a partir de sua aplicação. Dentre artefatos que podem ser produzidos tem-se: modelos, diagramas, planos, estruturas organizacionais, produtos comerciais e *design* de sistemas de informação (LUKKA, 2003).

O método original é desenvolvido em quatro etapas, porém, devido à ausência de um programador para dar suporte ao trabalho, faremos pequenas alterações nas duas etapas finais. A primeira será a fase de elucidação, que consiste na definição dos sistemas construtivos e da proposta de automação. A segunda é a fase de *design*, onde são identificados os parâmetros, restrições e padrões mínimos do sistema. Na terceira, que seria a fase de implementação, onde deveríamos implantar os padrões dentro de um *plug-in*, será a fase de validação. Nesta iremos validar o comportamento dos padrões submetendo-os em situações distintas na forma de *script* dentro da plataforma Archicad 18. A última fase, seria a fase de validação, porém será a fase implementação, onde serão desenvolvidos diagramas de atividades na linguagem UML, segundo Booch et al (2000) os mesmos não precisam ser desenvolvidos em linguagem de programação. Assim, os diagramas desenvolvidos servirão com base para geração de *plug-in* aplicável em qualquer plataforma BIM.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fase de elucidação

O objeto paramétrico escolhido para ser automatizado foi o sistema construtivo de alvenaria racionalizada de amarração $\frac{1}{2}$, que possui como componentes principais os blocos de tijolos (cerâmicos ou de concreto) e as juntas de argamassa, além de componentes complementares, como blocos canaletas em "U" que servem como vergas e contravergas, isto é, componentes estruturais dos vãos. A função escolhida foi paginação completa de uma alvenaria isolada com vãos (ver figura 01), que se enquadra no nível de automação "geração de layout baseado no conhecimento".

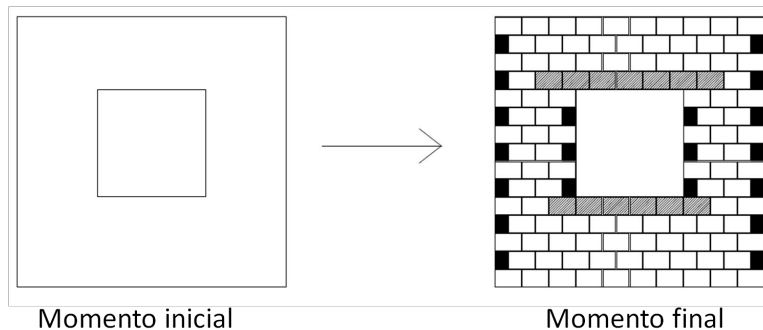


Figura 01: Comportamento do objeto paramétrico. Fonte: Autor.

4.2. Fase de Design

Durante esta fase foram analisadas as restrições, parâmetros e identificados os padrões de comportamento. O método se partiu do conceito de "modelagem de cima para baixo" SACKS (2003), onde se observou inicialmente o comportamento das paredes sem detalhes, avaliando os seus comportamentos geométricos e restrições em relação a outros componentes, como vergas, contravergas e amarração entre blocos.

4.2.1. Restrições e parâmetros

O parâmetro comum a todos os componentes do sistema é o fato de que todos devem ser múltiplos do módulo M , que terá o valor de 15cm, comum ao conjunto de componentes comerciais cerâmicos ou de concreto. Além dessa convergência de parâmetros, há algumas particularidades, no caso, os vãos só podem estar inseridos dentro das paredes e ambos os objetos só podem sofrer qualquer remodelação dimensional em relação a altura e comprimento, pois a espessura é fixa (ver figura 02). Já as vergas contravergas, que funcionam como componentes estruturais dos vãos de esquadrias, devem se localizar sobre e abaixo dos mesmos, respectivamente. Já em termos dos componentes estruturais que possuem espessura e altura fixa e de comprimento deve sobrar no mínimo 30cm a mais que o vão para cada lado (ver figura 03). Um ponto que deve ser observado são tipos de vãos existentes, como as portas que só possuem vergas e as janelas que possuem os dois componentes estruturais.

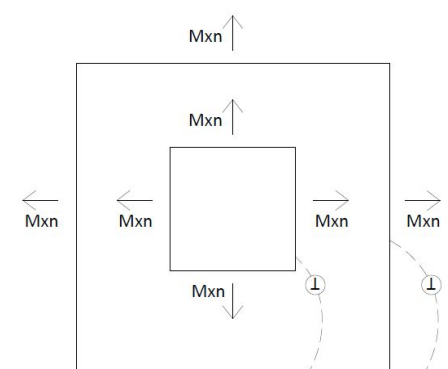


Figura 02: Vãos: Parâmetros e restrições. Fonte: Autor.

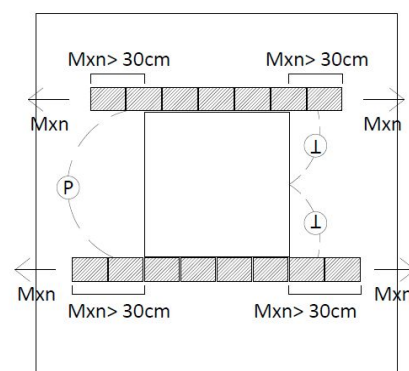


Figura 03: Vergas e contra vergas: Parâmetros e restrições. Fonte: Autor.

V!RUS 11

É parametrização, baby!

revista do nomads.usp | nomads.usp jornal
issn 2175-974x | CC BY-NC
www.nomads.usp.br/virus | vnomads@sc.usp.br

Além dos vãos, que são componentes opcionais, as paredes são formadas principalmente por blocos e juntas de argamassa. O comprimento dos blocos devem se posicionar paralelos ao chão e os blocos adjacentes na mesma fiada devem ser encaixados pela espessura. Já os blocos da fiada superior devem ser encaixados sobre a metade o inferior evitando as juntas coincidentes (ver figura 04). Entre um bloco e outro na parte lateral e superior tem-se juntas de argamassa de 1cm (ver figura 05).

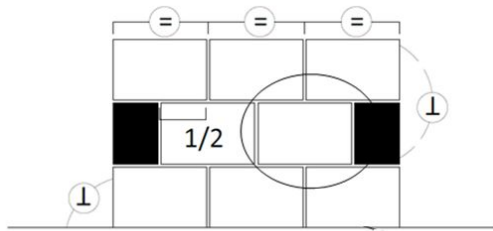


Figura 04: Blocos: Parâmetros e restrições. Fonte: Autor.

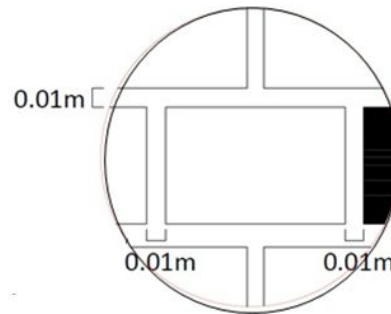


Figura 05: Detalhes de juntas: Parâmetros e restrições. Fonte: Autor.

Os blocos que compõem as alvenarias possuem dimensões fixas, múltiplas do módulo M, sendo suas espessuras e alturas iguais, mas os comprimentos variáveis. Logo, temos três tipos de blocos principais denominados de 2M e os blocos de amarração 1M e de 3M, que possuem as seguintes dimensões modulares em termos de comprimento, espessura, altura: 15x15x20cm, 30x15x20cm e 45 x15x20cm e os tamanhos reais, devido à presença de juntas horizontais e verticais são 14x14x19cm, 29x14x19cm e 44x14x19cm. Já os do tipo canaleta possuem dimensões 1M e 2M e são utilizados como vergas e contra-verga (ver figura 06 e 07).

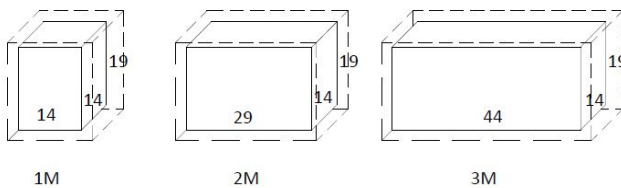


Figura 06: Blocos principais: Parâmetros e restrições. Fonte: Autor.

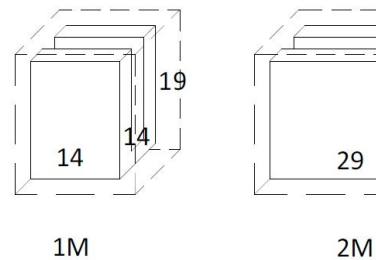


Figura 07: Blocos canaletas: Parâmetros e restrições. Fonte: Autor.

4.1.1. Identificação de padrões mínimos

Os padrões de comportamento do sistema construtivo são identificados por meio da associação das restrições apresentadas com as dimensões modulares dos componentes do sistema construtivo e a locação dos mesmos. Após a análise da produção de pesquisas anteriores, observou-se que existem duas possibilidades, isto é, dois conjuntos de padrões para gerar a paginação automática de paredes com esquadrias. A primeira proposta por Monteiro (2011) e outra proposta por esta pesquisa. Como foram escolhidos dois caminhos distintos para

automação, temos algumas variações de padrões de acordo com cada um dos caminhos escolhidos.

Ao observamos o comportamento de uma parede paginada a partir de suas dimensões pode-se extrair os seguintes padrões R1, quando o comprimento obedece a fórmula a seguir $C = M \times N + 1M$ (ver figura 08), e R2, quando o comprimento obedece a seguinte fórmula $C = M \times N$ (ver figura 09), já previstos por Romcy (2012).

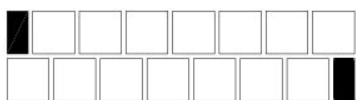


Figura 08: Parede R1. Fonte: Autor.

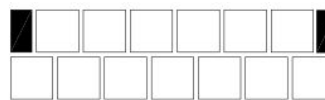


Figura 09: Parede R2. Fonte: Autor.

Ao observamos as variáveis em interface com um vão de esquadria podemos trabalhá-las como fez Monteiro (2011), separando o preenchimento por áreas. Porém, diferente dos padrões da parede isolada apresentados acima, onde as paredes iniciam somente com R1 aqui podem iniciar e terminar com R1 ou R2, pois a variação da paginação da parede com esquadria depende da localização e do comprimento da parede. Assim, a partir da determinação de áreas, temos as seguintes situações (ver figura 10):

- Se a área for A1, as paginações só podem iniciar com R1 e terminar com R1 ou R2;
- Se área for A2, A3, A4 e A5, as paginações podem iniciar ou terminar com R1 ou R2;

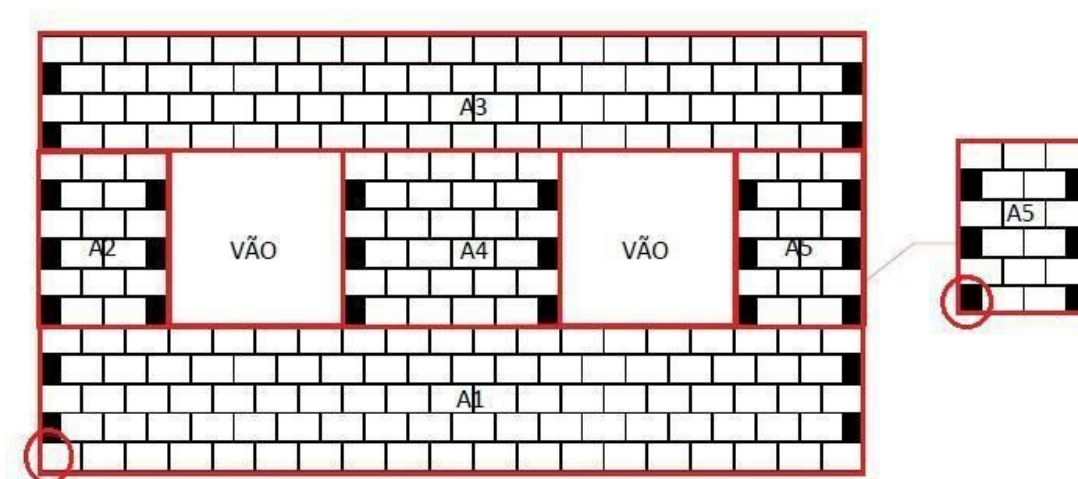


Figura 10: Experimento I. Fonte: Autor, adaptado de Monteiro (2011).

Outro meio possível de se paginar uma parede é preencher a paginação inteira desconsiderando a presença da esquadria, como fosse uma área única do tipo A1 e depois eliminar ou substituir os blocos necessários. Ao partimos dessa premissa temos novas situações, válidas para qualquer tipo de vão:

- **Padrão AB1:** Se existirem blocos inteiramente dentro do vão, todos serão eliminados;

V!RUS 11

É parametrização, baby!

revista do nomads.usp | nomads.usp jornal
issn 2175-974x | CC BY-NC
www.nomads.usp.br/virus | vnomads@sc.usp.br

- **Padrão AB2:** se existirem blocos de 2M parcialmente dentro do vão, todos serão substituídos por blocos de 1M;

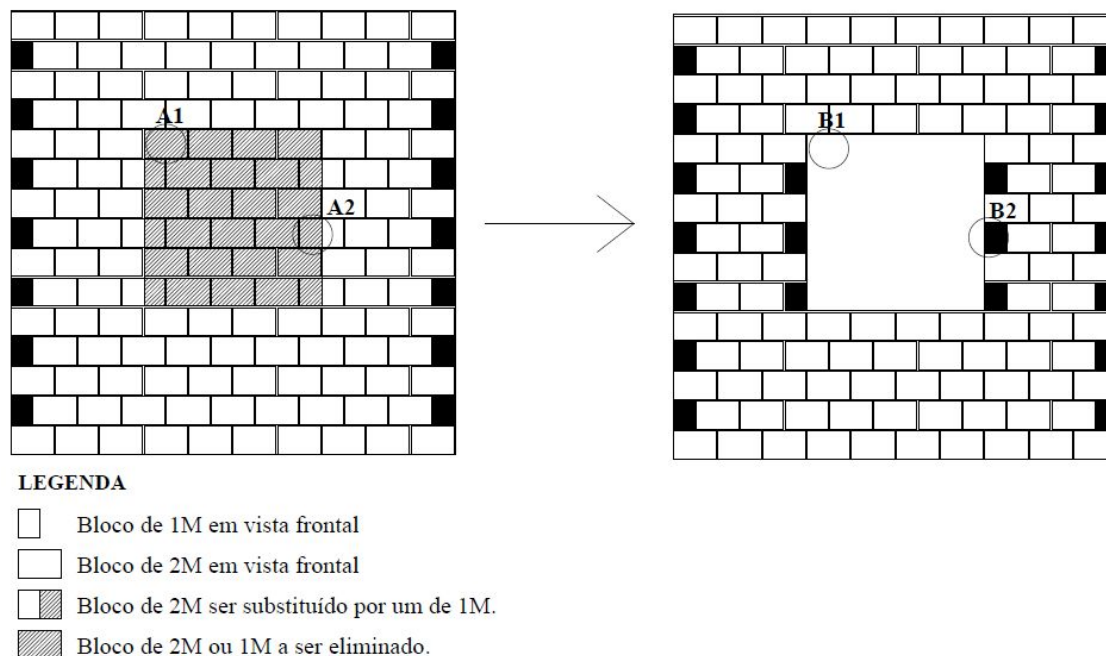


Figura 11: Experimento II. Fonte: Autor.

Já o padrão destinado para as vergas e contravergas é comum para ambos os experimentos. Estas peças estruturais devem se localizar acima e abaixo do vão, e, de acordo com as possibilidades de paginação, podem assumir dois tamanhos distintos (ver figura 12):

- **Padrão CD1**

- A dimensão da verga obedecerá a seguinte fórmula: $\text{vão} + 30 \text{ cm}$, caso o bloco localizado no final do vão estiver inteiramente acima do mesmo.
- A dimensão da contraverga obedecerá a seguinte fórmula: $\text{vão} + 30 \text{ cm}$, caso o bloco localizado no final do vão estiver inteiramente a cima do mesmo.

- **Padrão CD2**

- A dimensão da verga obedecerá a seguinte fórmula: $\text{vão} + 45 \text{ cm}$, caso o bloco localizado no final do vão estiver parcialmente acima do mesmo.
- A dimensão da contraverga obedecerá a seguinte fórmula: $\text{vão} + 45 \text{ cm}$, caso o bloco localizado no final do vão estiver parcialmente acima do mesmo.

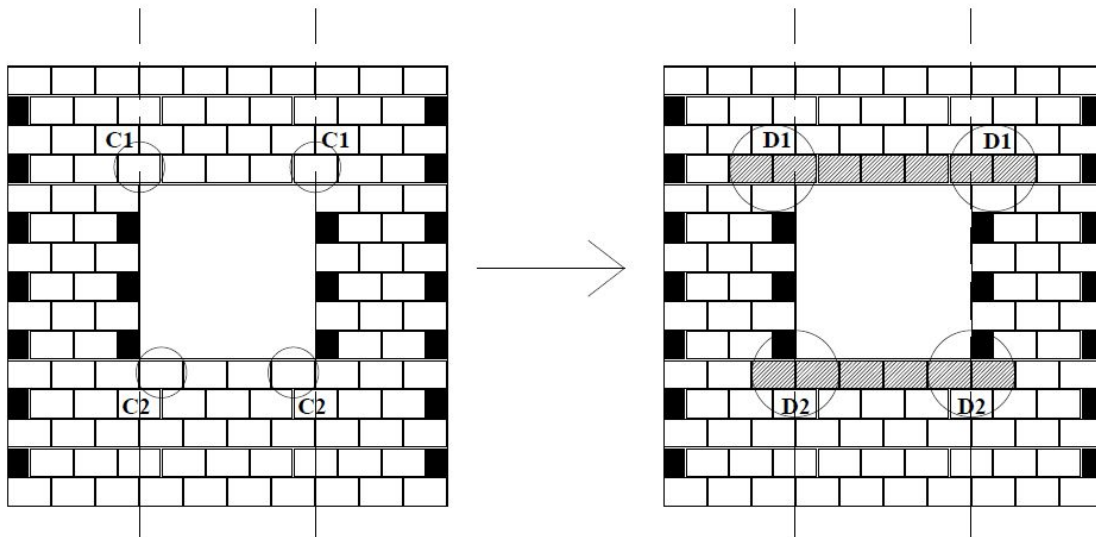


Figura 12: Vergas e contravergas. Fonte: Autor.

4.3. Fase de Validação

Durante esta etapa os padrões foram modelados e submetidos a testes dentro do software Archicad 18 a nível de script, onde foram simuladas diversas situações.

Os modelos desenvolvidos possuem representações tridimensionais e bidimensionais, no caso, optamos somente pelas bidimensionais, pois permitem uma visualização mais objetiva e clara do comportamento dos padrões. Sobre cada padrão apresentado foi realizado dois ou mais testes. O primeiro foi o de reconhecimento do comportamento, os restantes são de validação, aqui iremos considerar que quando o comportamento se repete no segundo teste, o mesmo já é válido, pois a tendência é que o mesmo se repita ao longo dos outros testes.

Assim, iremos submeter os dois caminhos de automação em testes similares. O primeiro teste consiste no preenchimento da paginação completa de uma parede com 3mx3m com um vão de esquadria de tamanho modular 1,05mx1,20m e tamanho real 1,06x1,21; localizada de uma forma centralizada sobre si mesma, conspirando a parede sem revestimento. O segundo utilizaremos a mesma parede, porém aumentaremos o valor de um módulo (M), isto é 15cm, para cada lado da janela, e 20cm para cima, o valor da altura do bloco ficando a mesma com o tamanho modular de 1,35x1,40 e tamanho real de 1,36x 1,41. O aumento de um módulo corresponde à variação mínima que pode surgir. Caso surja novos padrões não previstos, serão feitos novos testes ampliando mais 15cm e sempre ajustando o tamanho real com tamanho modular (ver figura 13).

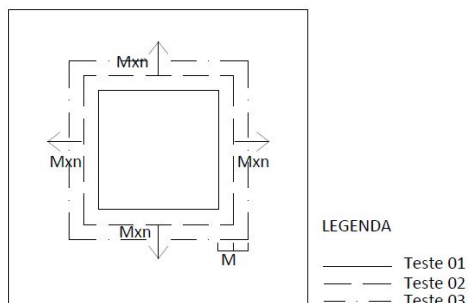


Figura 13: Testes 01, 02 e 03. Fonte: próprio autor.

Após os testes realizados percebeu-se que o método I foi contemplado 100%. Por outro lado, o método II atendeu parcialmente as expectativas, pois ao aplicarmos a regra de substituição de blocos A2 por B2, isto é, bloco de 2M por um de 1M, os localizados à direita do vão foram relocados em posições erradas (ver figura 14). Isto ocorreu pelo fato de que todo objeto paramétrico na plataforma Archicad, possui um ponto de referência para ser substituído ou inserido. Com intuito de resolver o problema, teríamos que criar dois blocos de 1M com pontos de referências distintos ou movê-los depois de inseridos. A primeira opção foi descartada, pois não foi possível realizá-la no software Archicad 18. Logo, optou-se pelo algoritmo que gere o deslocamento do mesmo após inserido. Assim, se sugeriu a subdivisão dos padrões em C2.1, C2.2. e realizaram novos testes que comprovaram os mesmos.

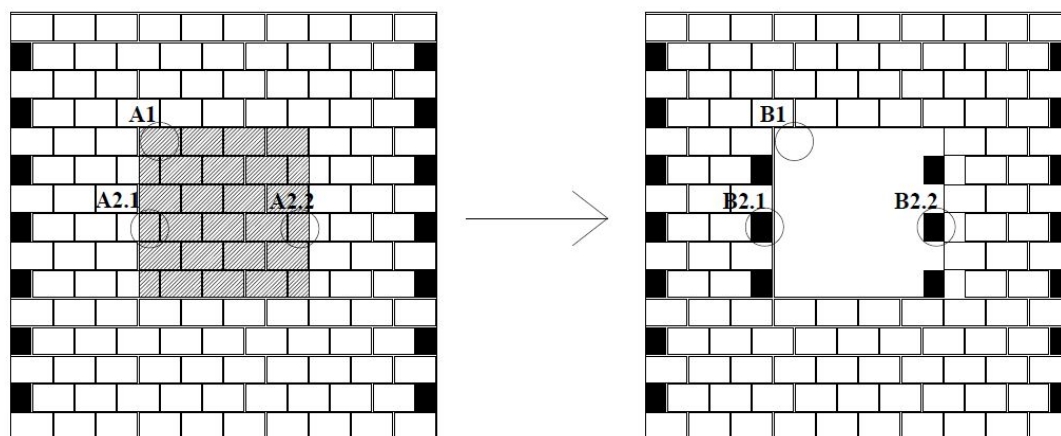


Figura 14: Método II: teste 01. Fonte: próprio autor.

Quanto ao algoritmo correspondente às vergas e contravergas, comum a ambos os experimentos, apresentou um comportamento inesperado, onde dois padrões (CD1 e CD2) geraram um único conjunto de ações (ver figura 15).

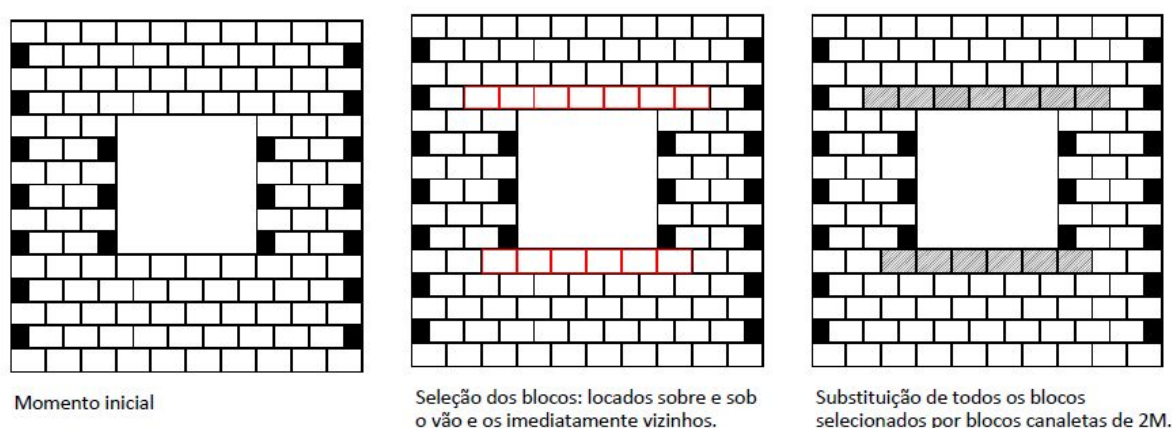


Figura 15: Simulação vergas e contravergas. Fonte: Autor.

Porém, quando as esquadrias são locadas no canto da parede, situação mais comum às portas, temos a presença de blocos de 1M e 2M, que tem que ser selecionados e substituídos de forma individual, gerando assim, um novo padrão.

4.4. Fase de Implantação

Os diagramas de atividades foram desenvolvidos em três etapas. Primeiro extraiu-se as ações presentes em cada método e nos seus respectivos testes. Depois se comparou as ações existentes dentro de cada teste. Por fim, gerou-se um único diagrama para cada método. Assim, quando encontrado ações similares inseriu-se um fluxo de ações contínuo; quando se percebeu divergências de ações utilizou-se um instrumento chamado bifurcação. Em casos específicos, quando após uma bifurcação for necessário unificar o fluxo, utiliza-se uma barra de união (ver figura 16).

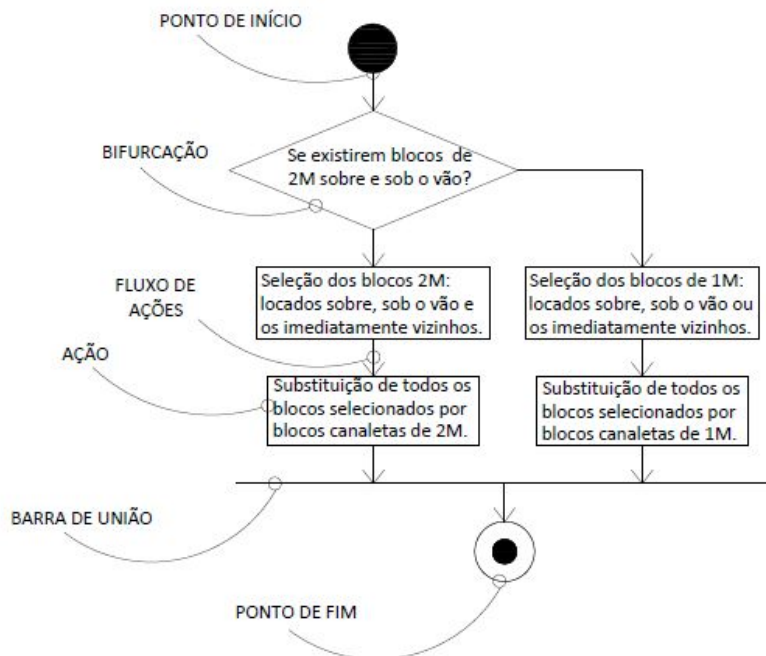


Figura 16: Diagrama vergas e contra vergas. Fonte: Autor.

Após o desenvolvimento de ambos os diagramas percebe-se que o caminho escolhido por nós gera um fluxo de ações bem menor se comparado ao de Monteiro (2011). Porém, o de Monteiro (2011) tem a possibilidade de repetição de um mesmo algoritmo, que dependendo da quantidade de esquadrias sobre a parede pode ser repetido de 04 a 05 vezes, que gera a redução das ações do fluxograma, mas fica sempre dependente de uma biblioteca de algoritmos. E mesmo assim, ainda continua maior que o nosso fluxo (anexo 01 e anexo 02). Quanto às vergas e contravergas, tem-se um único fluxo de ações para dois padrões visuais distintos. Porém, adicionamos mais fluxo devido à possibilidade de substituição de blocos de 1M, que possui o mesmo conjunto de ações mudando somente o tipo de bloco (ver figura 16). Outra vantagem apresentada pelo novo algoritmo produzido é que o mesmo pode ser aplicado em outra situação como, por exemplo, quando já tivermos uma parede paginada e quisermos inserir uma parede sobre a mesma.

5. CONCLUSÕES

Durante o experimento reafirmaram-se algumas teorias, como ambiguidade, complexidade e eficiência da modelagem paramétrica, além do suporte científico do *design science* para as devidas adequações ao método BOB as condições deste trabalho.

Lee et al (2005) considera a modelagem paramétrica como um método ambíguo, pois há várias possibilidades de chegar ao mesmo caminho, sendo o melhor aquele que possui o menor processamento de dados. Com os experimentos realizados podemos verificar o caminho

V!RUS 11

É parametrização baby!

revista do nomads.usp | nomads.usp jornal
issn 2175-974x | CC BY-NC
www.nomads.usp.br/virus | vnomads@sc.usp.br

desenvolvido por nós como o melhor caminho, pois possui o menor fluxo de ações. Outros fenômenos observados foram os dois padrões visuais das vergas e contravergas verificados na fase de design, que na fase de implantação foram traduzidos em um único fluxo de ações. Assim se comprova a ambiguidade desse método, além, de demonstrar que nem sempre padrões diferentes geram fluxo de ações diferentes. O método BOB tem se mostrado bem mais eficiente, no sentido da clareza e objetividade durante a identificação e validação dos padrões de comportamento dos componentes do projeto de alvenaria, principalmente se comparado com outros trabalhos nacionais similares que utilizam a modelagem paramétrica e a gramática da forma para desenvolverem os seus próprios métodos.

A teoria do *design science* nos ajudou a sancionar dúvidas a respeito do método BOB no âmbito científico, por exemplo, como validar os experimentos sem a realização da programação e que artefato poderíamos gerar. No caso, o *design science* se apresenta como um dos meios de validação à submissão do artefato em todos os contextos possíveis, por isso fizemos experimentos a partir de variações de tamanhos modulares. Em termos de artefato, o mesmo pode ser apresentado como um diagrama. Já em termos de contribuições científicas, o trabalho apresenta o desenvolvimento de um novo caminho para paginação de paredes que fazem interface com o vão e a inserção da ferramenta de simulação em script no método BOB.

O incremento da simulação de script ao método BOB ajudou bastante para o desenvolvimento de diagramas mais precisos, devido à ausência de um programador. Porém, recomenda-se em trabalhos futuros, que possuam programadores na equipe, a utilização desta ferramenta, não para todos os padrões, mas sim para os principais. Recomenda-se, também, a aplicação dos diagramas desenvolvidos em uma plataforma BIM por meio de um *plug-in*.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao FINEP, Financiadora de Estudos e Projetos.

REFERÊNCIAS

- ADDOR, M.; CASTANHO, M.; CAMBIAGHI, H.; DELATORRE, J.; NARDELLI, S.; OLIVEIRA, L. Colocando o "i" no BIM. **Revista Acadêmica Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, n. 4, p. 104-115, 2010.
- ANDRADE, M.; RUSCHEL, R. Interoperabilidade entre ArchiCAD e Revit por meio do formato IFC. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4., 2009, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2009.
- ARAYICI, Y.; COATES, P.; KOSKELA, L.; KAGIOGLU, M.; USHER, C. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 291-312, 2011.
- AYRES, C. **Acesso ao modelo integrado do edifício**. 2009. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.
- BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **UML—guia do usuário**. Trad. Fábio Freitas da Silva. Rio de Janeiro: Campus, 2000.
- CAVIERES, A.; GENTRY, R.; AL-HADDAD, T. Knowledge-based parametric tools for concrete masonry walls: conceptual design and preliminary structural analysis. **Automation in Construction**, v. 20, n. 6, p. 716-728, Out. 2011.
- CELANI, G.; CYPRIANO, D.; GODOI, G.; VAZ, V. A gramática da forma como metodologia de análise e síntese em arquitetura. **Conexão: comunicação e cultura**, v. 5, n. 10, p. 181-197, 2006.

CHECCUCCI, S.; PEREIRA, A.P.C.; AMORIM, A.L. A difusão das tecnologias BIM por pesquisadores do Brasil. In: TIC, 5., Salvador, 4-5 Ago. 2011. **Anais...** 2011.

DUEÑAS PEÑA, M.; FRANCO, L. Método para elaboração de projetos para produção de vedações verticais em alvenaria. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 1, n. 1, p. 126-153, Nov. 2006.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. Hoboken: Wiley, 2008, 490 p.

FERREIRA, R.; SANTOS, E. **Uma proposta de uso do CAD 3D em projetos para produção de vedações verticais em edifícios**. São Paulo: EPUSP, 2008. 22p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP).

GREVEN, H.; BALDAUF, A. **Introdução à coordenação modular da construção do Brasil: uma abordagem atualizada**. Porto Alegre: ANTAC, 2007. (Coleção Habitare).

LEE, G.; SACKS, R.; EASTMAN, M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. **Automation in Construction**, v. 15, n. 6, p. 758-776, Nov. 2005

LUKKA, K. The constructive research approach. In: OJALA, L.; HILMOLA, O-P. (Eds.). **Case study research in logistics**. Turku: Turku School of Economics and Business Administration, 2003, p. 83-101.

MONTEIRO, A. **Projeto para produção de vedações verticais em alvenaria em uma ferramenta CAD-BIM**. 2011. 111f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2011.

MÜLLER, A. **Informações para placas cerâmicas de revestimento segundo a abordagem BIM**. 2010. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Londrina, Londrina/PR, 2010.

ROMCY, N. **Proposta de tradução dos princípios da coordenação modular em parâmetros aplicáveis ao building information modeling**. 2012. 181f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SACKS, R.; EASTMAN, M.; LEE, G. Parametric 3D modeling in building construction with examples from precast concrete. **Automation in Construction**, v. 13, n. 3, p. 291-312, Maio 2003.

SILVA, M. **Diretrizes para o projeto de alvenarias de vedação**. 2003. 167 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, Maio 2009.