

# Desenvolvimento de aplicativo em ambiente BIM, segundo princípios da Coordenação Modular

*Development of an application in BIM systems, according to Modular Coordination principles*

**Neliza Maria e Silva Romcy**  
**Daniel Cardoso**  
**Alexandre Araújo Bertini**  
**André Paes**

## Resumo

**C**onsiderando que a Coordenação Modular e o Building Information Modeling (BIM) surgem como estratégias para melhorar a indústria AEC, o presente estudo tem como objetivo investigar a associação de ambos, através do desenvolvimento de uma aplicação para fins demonstrativos, além do registro da sua metodologia. O artigo apresenta o processo de customização do aplicativo BIM, sendo o estudo dividido em três etapas: Concepção, Desenvolvimento e Validação. Os resultados incluem a criação da versão inicial de um plug-in, com a função de gerar automaticamente as paginações de blocos cerâmicos para a alvenaria racionalizada; a proposição de uma metodologia para o reconhecimento de regras de construção para objetos modulados, no caso, sistemas construtivos; e a verificação que BIM e Coordenação Modular utilizados em conjunto podem ampliar os benefícios obtidos por cada uma separadamente.

**Palavras-chave:** BIM. Modelagem da Informação da Construção. Coordenação Modular. Customização de aplicativo. Alvenaria racionalizada.

**Neliza Maria e Silva Romcy**  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza - CE - Brasil

**Daniel Cardoso**  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza - CE - Brasil

**Alexandre Araújo Bertini**  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza - CE - Brasil

**André Paes**  
Universidade Federal do Ceará  
Fortaleza - CE - Brasil

## Abstract

*Considering that Modular Coordination and Building Information Modelling (BIM) have emerged as potential strategies to improve the AEC industry, this study aims to investigate the association between BIM and Modular Coordination by developing an application for demonstration purposes, besides recording its methodology. This paper presents the process of customizing a BIM application, being the investigation divided into three stages: understanding, development and validation. The results include the development of an early version of a plug-in that has the purpose of automatically generating layouts of ceramic blocks for rationalised masonry; the proposition of a methodology for the recognition of rules of construction of modular objects, in this case, building systems; and the verification that BIM and Modular Coordination used together may enhance the benefits obtained by each one individually.*

**Keywords:** BIM. Building Information Modeling. Modular Coordination. Application customisation. Rationalised masonry.

**Recebido em 30/09/13**  
**Aceito em 06/03/14**

## Introdução

O fluxo e a integração de informações envolvidas ao longo de toda a cadeia produtiva do empreendimento, a começar pela fase de projeto, têm sido um entrave para a aplicação de melhorias no setor da construção civil.

Nesse contexto, encontram-se como estratégias para redução do problema o resgate dos conceitos da Coordenação Modular, “antiga inovação” conhecida pelo cenário brasileiro, e a implementação do *Building Information Modeling* (BIM), processo tecnológico digital de construção civil, em fase de amadurecimento e apropriação por parte das empresas nacionais.

A Coordenação Modular consiste em uma estratégia de compatibilização dimensional, através de um sistema de referência modular, que norteia o desenvolvimento do projeto da edificação e seus componentes construtivos. No Brasil, a NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO..., 2010a) definiu 100 mm como medida modular de referência.

O BIM, ou Modelagem da Informação da Construção (ASSOCIAÇÃO..., 2010b), consiste no uso de um modelo digital para armazenamento e compartilhamento dos dados referentes ao projeto, possível de ser acessado e modificado por toda a equipe integrante do processo. Os dados estão inclusos como parâmetros associados aos elementos de projeto, inseridos ao modelo como objetos paramétricos.

Considerando que a Coordenação Modular inclui princípios que permitem a compatibilização de medidas (sistema decimétrico) e que, no BIM, os elementos de projeto são definidos a partir do estabelecimento de parâmetros (modelagem paramétrica), foi possível deduzir como relação a transformação dos princípios de compatibilização da Coordenação Modular em parâmetros aplicáveis ao BIM.

Assim, a presente pesquisa investigou a possibilidade de se estabelecer essa relação, vislumbrando alcançar benefícios técnicos para a indústria da AEC, como aumento da integração entre os agentes envolvidos na cadeia produtiva e aproximação entre a etapa de projeto e a etapa de execução.

O resultado final foi o registro de uma metodologia para a tradução de princípios da Coordenação Modular em parâmetros aplicáveis ao BIM e uma primeira versão do produto pretendido: um *plug-in* para a geração automática de paginações de blocos cerâmicos para alvenaria racionalizada, com possibilidades de extração dos desenhos técnicos 2D e lista de quantitativos. Para

a validação da metodologia proposta, ainda foi realizada sua aplicação em um segundo sistema construtivo, o *light steel framing*.

## Referencial teórico

### Coordenação Modular

A Coordenação Modular é definida por Mascaró (1976) como um “[...] mecanismo de simplificação e inter-relação de grandezas e de objetos diferentes de procedência distinta, que devem ser unidos entre si na etapa de construção ou montagem, com mínimas modificações ou ajustes [...]”.

A discussão sobre o tema foi retomada no Brasil recentemente, quando a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) propôs uma revisão de seu conjunto de normas e aprovou a NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO..., 2010a) (Coordenação Modular para edificações), visando à difusão e adoção plena da medida. Segundo Guia da Construção (2009), tal iniciativa se deu como fruto do amadurecimento do setor nos últimos anos, somado aos argumentos favoráveis para o sucesso da normativa.

A indústria da construção está transformando sua forma de trabalhar, antes no canteiro de obras com uso de materiais construtivos básicos, para um processo de montagem em que as partes da edificação são feitas em fábrica, mais completas e complexas. Se a indústria da construção pudesse concordar quanto às condições de conectividade entre tais partes da edificação, teria mais liberdade para desenvolver novos produtos, seguindo as restrições definidas para dimensões e conexões (CUPERUS, 2001).

Nesse contexto, a Coordenação Modular pode ser definida como a ordenação dos espaços na construção civil, cujo principal objetivo é a racionalização da construção; do projeto à execução. Para tanto, dispõe dos seguintes princípios que norteiam sua estruturação (GREVEN; BALDAUF, 2007):

- (a) sistema de referência;
- (b) sistema modular de medidas; e
- (c) sistema de ajustes e tolerâncias.

O sistema de referência é formado por pontos, limites e planos, em relação aos quais ficam determinadas a posição e a medida de cada componente da construção.

O sistema modular de medidas é baseado no módulo, unidade de medida da Coordenação Modular, e compõe seus múltiplos inteiros ou

frações. O sistema de ajustes e tolerâncias inclui as juntas modulares (distância prevista entre os extremos de dois componentes) e ajustes modulares (medida que relaciona o extremo do componente à malha modular).

O cálculo pode ser resumido a seguir: dado o vão, basta informar sobre o comprimento dos componentes, estudar onde fazer as amarrações e quanto material usar (TÉCHNE, 2011).

Cada componente terá um espaço destinado a ele, que será dimensionado a partir do módulo, previsto em projeto e respeitado durante a execução. Esse espaço deve prever a medida do componente em si, somada aos possíveis ajustes e tolerâncias, que variam em função do tipo de componente e sistema construtivo.

Como objetivos da Coordenação Modular, a NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO..., 2010a) destaca a promoção da compatibilidade dimensional entre elementos construtivos (projeto) e componentes construtivos (fabricantes). Assim, em termos gerais, pode trazer benefícios no que diz respeito ao aumento da integração entre os agentes envolvidos na cadeia produtiva, aproximando as etapas de projeto e execução, além de aumentar a flexibilidade de rearranjos em uma mesma edificação, através da intercambialidade.

A modulação também se apresenta como ideia-chave e estratégia interessante para a customização em massa, voltada para a produção de habitações. Os produtos são “decompostos” em componentes modulares ou subsistemas, que podem ser recombinados de forma a satisfazer as necessidades do cliente o mais próximo possível (HUANG; KRAWCZYK; SCHIPPOREIT, 2006).

Santos *et al.* (2007) também apontam a customização como possível vantagem trazida pela aplicação da Coordenação Modular, ao favorecer a intercambialidade e, conseqüentemente, a redução de problemas nas interfaces entre componentes e subsistemas; porém, tal benefício não é facilmente percebido pelas empresas. Espera-se que, com a aprovação da nova NBR 15873 (ASSOCIAÇÃO..., 2010a), mencionada anteriormente, a divulgação do tema em debate, somada ao processo de amadurecimento do setor no Brasil, possibilite a superação de tal entrave.

## Building Information Modeling

Alguns dos aspectos mais relevantes no uso da informática aplicada ao projeto seriam a visualização tridimensional, a simulação e a virtualidade. A evolução da informática, com o aumento substancial da capacidade oferecida pelas placas de vídeo, da memória RAM e do

processador, possibilitou o início dos projetos desenvolvidos em três dimensões e a automatização da informação, a qual permitiu a redução de perda de tempo em tarefas pouco criativas e tediosas (ORCIUOLI, 2010).

Nesse contexto, o *Building Information Modeling* (BIM) inclui ferramentas, processos e tecnologias baseados em documentação digital sobre uma edificação, sua eficiência, seu planejamento, sua construção e, posteriormente, sua operação (EASTMAN *et al.*, 2008). Assim, o BIM consiste em uma metodologia para gerenciar os projetos e seus principais dados, em formato digital, ao longo do ciclo de vida de uma construção (PENTTILÄ, 2006<sup>1</sup> *apud* SUCCAR, 2009).

Kymmell (2008) resume os benefícios do BIM sob três princípios básicos: visualização, colaboração e eliminação. A visualização se refere à melhoria da compreensão pessoal do indivíduo a partir do uso do modelo, estimulando o pensamento sobre as necessidades do projeto e ajudando em sua descrição. A colaboração diz respeito ao encorajamento e à facilitação de uma ação cooperativa por parte de toda a equipe. Por fim, a eliminação consiste em benefícios relativos ao projeto, como redução de conflitos, de perdas e de riscos.

O desenvolvimento da revolução informática também trouxe mudanças quanto à customização em série, pois gera um novo modelo industrial, em que a linha de montagem pode criar milhares de variações diferentes do mesmo produto (DUARTE, 2007). O desenho paramétrico e a automação de funções permitem um futuro que contemple a fabricação digital, a customização e a personalização. A procura de uma solução única e universal, base da Revolução Industrial e do Movimento Moderno, é substituída pela multiplicidade e pela particularidade (ORCIUOLI, 2010).

A implantação do BIM, porém, traz novos desafios, inclusive na concepção do projeto, visto que essa nova tecnologia não se resume a uma forma de representação posterior às atividades de criação, mas modifica a própria dinâmica de projetar.

Através da modelagem paramétrica, os diversos projetistas inserem suas informações em objetos ou elementos, além de regras que definem seus padrões de comportamento, criando conjuntos lógicos que podem ser atualizados automaticamente. O fluxo dessas informações deve

<sup>1</sup>PENTTILÄ, H. Describing the Changes in Architectural Information Technology to Understand Design Complexity and Free Form Architectural Expression. *ITCON*, v. 11, special issue, p. 395-408, 2006.

acontecer de forma contínua, como uma discussão simultânea de todos os envolvidos no processo de projeto em busca de uma solução única (RUSCHEL *et al.*, 2010). A mudança de paradigmas se torna clara quando se observa que os modelos tradicionais de processo de projeto de arquitetura sugerem a elaboração de projeto de uma forma sequencial, em que uma etapa se inicia após a finalização da anterior, sem a interação entre os diversos agentes, devido à ausência de comunicação e coordenação entre as atividades (ITO, 2007).

Dessa forma, percebe-se que, assim como a Coordenação Modular, para que seja possível a utilização do BIM em toda a sua potencialidade, os principais desafios a serem superados incluem a falta de conhecimento a respeito do tema e a necessidade de um esforço coletivo por parte de todos os agentes envolvidos na indústria da AEC.

### Possibilidades de integração entre os temas

A partir da revisão bibliográfica, buscou-se observar em que aspectos cada um dos temas, Coordenação Modular e BIM, atua como estratégia de melhoria para a indústria da AEC, a fim de se perceberem semelhanças e possibilidades de integração. Para tanto, fez-se, ainda, um levantamento e registro dos principais conceitos encontrados ao longo dessa revisão, apresentados a seguir.

A Coordenação Modular tem como principal estratégia a intercambialidade, caracterizada pela compatibilização entre elementos e sistemas construtivos, em função de suas dimensões serem múltiplas do módulo decimétrico, no caso da norma brasileira (GREVEN; BALDAUF, 2007).

O BIM se caracteriza pelo uso da modelagem paramétrica e pela interoperabilidade, diferenciando-se dos antigos sistemas CAD. A modelagem paramétrica consiste na representação computacional de um objeto construído com entidades, cujos atributos podem ser fixos ou variáveis. Os atributos fixos são denominados como controlados, e os atributos variáveis podem ser representados por parâmetros e regras, de forma a permitir que objetos sejam automaticamente ajustados de acordo com o controle do usuário e a mudança de contexto (ANDRADE; RUSCHEL, 2009). A interoperabilidade envolve a capacidade de identificação e troca de dados e informações necessários para serem passados entre aplicativos, permitindo aos profissionais de diversas disciplinas trocar ou agregar informação de

maneira colaborativa e ágil (RUSCHEL *et al.*, 2010).

Assim, percebe-se que ambos, Coordenação Modular e BIM, atuam através da otimização e sistematização da informação em todos os níveis da cadeia produtiva, o que permite maior integração entre os agentes envolvidos do projeto à execução, além de fornecedores e cliente final.

### Método de pesquisa

O trabalho trata da interposição de duas temáticas com arcabouço teórico consolidado (BIM e Coordenação Modular) para a geração de novos conhecimentos (metodologia) e um produto final que demonstre sua aplicabilidade, o *plug-in*. Diante desse contexto, optou-se pela pesquisa construtiva (*construction research* ou *design research*) para a estratégia de pesquisa.

A abordagem da pesquisa construtiva consiste na produção de “construções inovadoras”, destinadas a resolver problemas enfrentados no mundo real e contribuir para a teoria da disciplina em que é aplicada (LUKKA, 2003). Um elemento essencial da abordagem construtiva é vincular o problema e sua solução ao conhecimento teórico acumulado. A inovação e o funcionamento da solução devem ser demonstrados também (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993). Assim, os passos da pesquisa construtiva incluem:

- (a) encontrar um problema com relevância prática, além de potencial contribuição teórica;
- (b) obter conhecimento geral e profundo do tema;
- (c) desenvolver uma construção para a solução do problema;
- (d) implementar a solução, testando seu funcionamento;
- (e) refletir sobre a aplicabilidade da solução; e
- (f) identificar e analisar a contribuição teórica.

Tais passos foram organizados em três etapas principais:

- (a) compreensão;
- (b) desenvolvimento; e
- (c) validação.

Ressalta-se que tal estrutura possui caráter didático, a fim de facilitar o entendimento da pesquisa.

A compreensão incluiu a descoberta do problema inicial, considerando sua relevância prática e teórica; e um primeiro estudo dos principais temas envolvidos, visando à obtenção de conhecimento e domínio necessários.

O desenvolvimento consistiu no estudo exploratório realizado ao longo da busca da solução para o problema, compreendendo:

- (a) o desenvolvimento da metodologia para a tradução de parâmetros da Coordenação Modular, aplicada a um primeiro sistema construtivo (alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos);
- (b) a simulação da aplicação da metodologia, inicialmente em linguagem *script*, menos complexa que a programação do *plug-in*; e
- (c) a programação de uma versão inicial do *plug-in*, a partir dos parâmetros levantados no estudo exploratório das etapas anteriores.

A validação incluiu a utilização do *plug-in* em uma situação real e a aplicação da metodologia desenvolvida em um segundo sistema construtivo de vedação (*light steel framing*), englobando um processo de validação externo e interno, consecutivamente.

A Figura 1 apresenta um resumo esquemático do delineamento da pesquisa e permite uma compreensão geral das etapas mencionadas, assim como as principais atividades realizadas.

## Compreensão

Considerando o objetivo do trabalho de desenvolver uma metodologia que transformasse os princípios da Coordenação Modular em parâmetros para a alimentação de um aplicativo BIM, foi definida como produto final a criação de uma nova função para determinado software, através de um *plug-in*.

Para tanto, foi necessário o levantamento de algumas decisões preliminares, incluindo que software BIM e estratégia de programação seriam utilizados, além dos objetos a serem representados (sistema construtivo).

Para a seleção do software BIM, foram definidos como critérios a disponibilidade de acesso gratuito para fins acadêmicos (versão educacional), as possibilidades de customização, observadas a partir de pesquisas anteriores (MONTEIRO, 2011; AYRES, 2009), e, por fim, o conhecimento técnico por parte da equipe da pesquisa.

Sobre as pesquisas consultadas, Monteiro (2011) trouxe como objetivo estabelecer uma metodologia para representar o Projeto para Produção de Vedações Verticais em Alvenaria (PPVVA) em ferramentas CAD-BIM, descrevendo modulações de alvenaria e automatizando atividades. Para tanto, foi utilizado o software Autodesk Revit

Architecture 2011 e criada uma linguagem específica para a descrição dos elementos que compõem o PPVVA, denominada MMDL (*Masonry Modulation Description Language*).

Ayres (2009) realizou experimentos com o desenvolvimento de aplicativos em ambiente BIM para demonstrar a acessibilidade, facilidade e disponibilidade de ferramentas para acessar o modelo de edifícios. Entre os experimentos, foi realizada a customização de uma ferramenta BIM, de maneira a se adaptar às peculiaridades do processo de projeto de alvenaria de blocos de concreto. Para isso, o autor utilizou o software ArchiCAD, da empresa Graphisoft, e sua linguagem *script* denominada GDL, a ser apresentada em maiores detalhes adiante.

Ambas as pesquisas trouxeram referências importantes quanto às possibilidades e limitações dos softwares BIM que poderiam ser utilizados no objeto do presente estudo. Vale salientar, porém, que o objetivo aqui colocado é a investigação de uma metodologia que possa ser aplicada aos princípios da Coordenação Modular como estratégia geral, e não a representação das especificidades de um único sistema construtivo.

Devido às possibilidades de customização, optou-se pelo aplicativo ArchiCAD da empresa Graphisoft, que disponibiliza as seguintes opções de acesso:

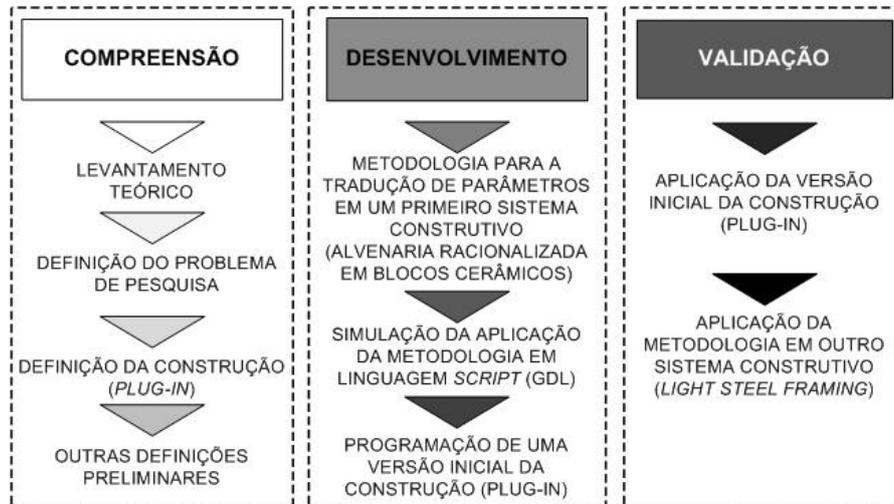
(a) programação dos objetos paramétricos em sua própria linguagem interna de *script* (*Geometrical Description Language – GDL*), possibilitando a geração dos componentes construtivos customizados; e

(b) o estabelecimento de uma interface direta com o aplicativo original, através de sua biblioteca de funções (*Graphisoft Application Programming Interface Development Kit – Graphisoft API*), o que permitiu o desenvolvimento do *plug-in*.

Assim, a estratégia de programação adotada buscou a associação de duas opções de acesso e comunicação: *script*, para a programação e customização dos objetos paramétricos; e *plug-in*, para o estabelecimento das relações entre os objetos paramétricos e o aplicativo BIM original (Figura 2).

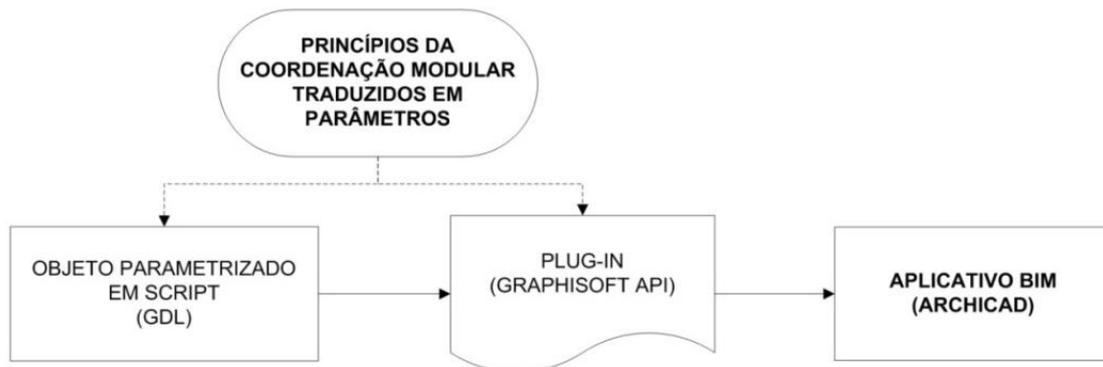
Como referencial de suporte, foram utilizados manuais específicos (NICHOLSON-COLE, 2000), além de tutoriais em vídeo e documentação digital, disponibilizados pelo site oficial da própria empresa (GRAPHISOFT, 2011).

Figura 1 - Resumo esquemático do delineamento da pesquisa



Fonte: Romcy (2012).

Figura 2 - Resumo esquemático da estratégia de programação e customização do aplicativo BIM



Fonte: Romcy (2012).

Para a seleção do subsistema da edificação a ser representado, os critérios foram o grau de influência do subsistema perante os demais e sua importância para o projeto da edificação como um todo. Devido a seu alto nível de interface com os outros subsistemas do edifício e sua importância para a racionalização da obra, a vedação vertical foi selecionada como o objeto da investigação proposta.

Por fim, para o sistema construtivo, foram adotados como critérios o parque tecnológico disponível no Brasil e a possibilidade de adequação aos critérios da Coordenação Modular, visto que a tradução de seus princípios para o BIM compreende o objetivo principal da investigação.

Com base em levantamento bibliográfico e visando ao atendimento desses critérios, foi selecionada a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, a ser representada no desenvolvimento do *plug-in*.

## Desenvolvimento

Para dar início ao estudo, foi necessária a compreensão de como se dispõe uma alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos, transformando o processo em parâmetros, para sua posterior reconstrução em linguagem computacional (alimentação do modelo BIM).

Entender o objeto como um sistema consiste em percebê-lo como uma estrutura organizada de componentes que se relacionam entre si ou com o meio em que está inserido, gerando as características do todo (VIEIRA, 2006). Assim, para a decomposição do objeto de estudo, foram selecionadas as seguintes características:

- (a) componentes, incluindo sua diversidade e sua quantidade;
- (b) relações, ou seja, a capacidade dos componentes em se conectar; e

(c) estrutura, ou seja, as conexões estabelecidas no sistema para determinado momento e sua construção passo a passo.

Os blocos cerâmicos foram determinados como os componentes básicos da alvenaria, enquanto as relações consistem nos tipos de amarração. A estrutura, que depende de um contexto específico, foi verificada posteriormente e se caracteriza pela disposição das alvenarias em um projeto específico.

Considerando o procedimento de amarração de alvenaria que melhor satisfaz à transmissão de esforços entre painéis e à simplicidade da execução, adotou-se alternar um bloco de cada painel a cada fiada, sem o uso de ligações com reforços metálicos ou semelhantes. Para atingir uma gama de relações maior e, conseqüentemente, maior flexibilidade de soluções, optou-se pela amarração de “terço” (VILATÓ; FRANCO, 2000), que permite:

- (a) amarração de canto ou encontro em “L”;
- (b) amarração em topo ou encontro em “T”; e
- (c) amarração cruzada ou encontro em “X” (Figura 3).

De acordo com tal tipo de amarração, foi selecionada uma família de blocos cerâmicos coordenados modularmente, desenvolvida pela própria Universidade Federal do Ceará (MEHIS..., 2010) e baseada na malha decimétrica como referência espacial, o que reforça sua adequação aos objetivos do presente trabalho.

O bloco principal possui 10 cm de espessura, incluindo 1 cm de reboco, e foi pensado pela composição de um módulo triplo, podendo-se trabalhar com os três tipos de componentes: bloco M1 (10 cm x 10 cm), bloco M2 (10 cm x 20 cm) e bloco M3 (10 cm x 30 cm). Essas medidas correspondem aos blocos 1/3, 2/3 e inteiro respectivamente (Figura 4).

Selecionados os componentes e as relações, deu-se início às investigações sobre a estrutura do objeto, que pode ser relacionada à coesão do todo e sua construção passo a passo. A partir daí, foi realizado um estudo da alvenaria isolada, para posteriormente serem estudados os encontros possíveis (L, T e X).

A alvenaria isolada foi estudada como um objeto a ser decomposto em seus componentes básicos (blocos M1, M2 e M3), que seriam distribuídos de

acordo com as propriedades dimensionais da alvenaria (altura, espessura e comprimento). O comprimento foi percebido como dimensão-problema, devido a sua maior complexidade, pois depende do número e da disposição de blocos cerâmicos de cada tipo (10 cm, 20 cm, 30 cm).

Foram percebidos três padrões de disposições de blocos em função do comprimento, que, dividido por 30 cm (comprimento do bloco inteiro), pode apresentar três tipos de resto (10 cm, 20 cm e zero), classificados respectivamente como R1, R2 e R3.

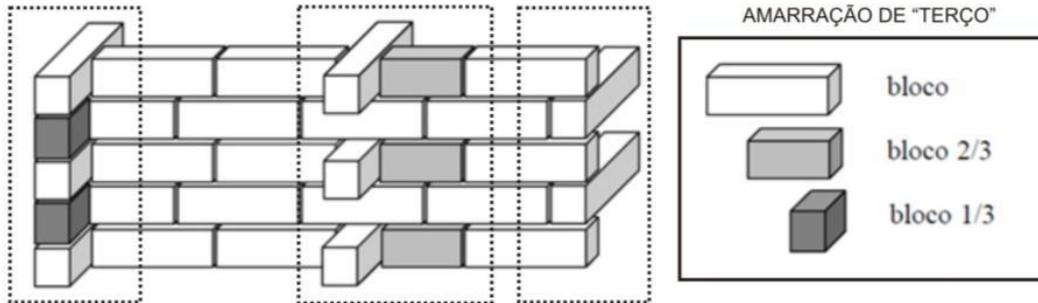
O estudo dos encontros em L, T e X partiu das regras estabelecidas para a alvenaria isolada, que, em resumo, foram as seguintes:

- (a) utilização do sistema decimétrico de medidas, em função da Coordenação Modular;
- (b) reboco de 1 cm, contabilizando 10 cm quando somado à espessura de fabricação do bloco;
- (c) ausência de junta vertical, devido ao sistema de encaixes da família de blocos selecionada;
- (d) bloco principal (30 cm) com prioridade de aplicação. Os blocos complementares (20 cm e 10 cm) são utilizados quando há “resto” na divisão do comprimento total da alvenaria pelo comprimento do bloco principal;
- (e) localização dos blocos complementares nas extremidades de cada pano, facilitando o isolamento de variáveis e concentrando um padrão de blocos principais no “núcleo” da alvenaria. A identificação de padrões e o isolamento das variáveis otimizam a informação e facilitam a geração dos parâmetros, sem prejuízos ao processo de execução; e
- (f) por razões construtivas, o tipo de amarração selecionado não permite junta a prumo.

Cada encontro foi caracterizado construtivamente e, respeitadas suas peculiaridades, adequado à classificação baseada nos possíveis comprimentos (R1, R2 e R3).

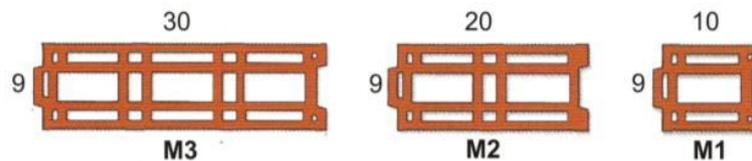
Com os parâmetros predefinidos, foi realizada sua aplicação em desenho 2D (AutoCAD) para dois projetos A e B, previamente selecionados, seguindo como critérios: estarem voltados a habitação de interesse social (HIS); e se adequarem às regras da Coordenação Modular.

Figura 3 - Amarração “de terço” e as disposições dos encontros em “T”, “X” e “L” respectivamente



Fonte: adaptado de Vilató e Franco (2000).

Figura 4 - Desenho em planta dos blocos básicos da família MEHIS, com suas principais dimensões



Fonte: MEHIS - Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais (2010).

Os parâmetros e o procedimento de aplicação mostraram-se insuficientes para suprir as características particulares dos encontros vislumbrados. Destaca-se, ainda, a dificuldade de visualização dos problemas e de possíveis soluções, devido ao uso exclusivo de desenho 2D. Assim, deu-se prosseguimento ao momento seguinte da pesquisa, com o uso do *script*, em uma primeira simulação no ambiente BIM.

Primeiramente foi necessária a criação dos objetos paramétricos que representariam os blocos cerâmicos. Um objeto GDL, linguagem própria do software ArchiCAD, caracteriza-se como um conjunto de *scripts* 2D e 3D, que trabalha com variáveis e operações preestabelecidas. Vale salientar que, nessa fase, os processos de distribuição dos blocos não são automatizados, mas já são apresentados os seguintes benefícios em relação ao momento anterior do desenho 2D:

- (a) melhor visualização das informações, facilitando a comunicação entre os integrantes da equipe, pois com o modelo BIM, desenho 2D e 3D são trabalhados de forma integrada;
- (b) aplicação de ferramentas tradicionais do próprio software selecionado que facilitam o desenvolvimento do projeto arquitetônico com dimensões que respeitem a Coordenação Modular. No caso, foi utilizada a malha própria do ambiente de trabalho do ArchiCAD, configurada com o espaçamento de 10 cm, além da opção “vincular à grelha”, que submete a construção do modelo aos espaçamentos determinados na malha;

(c) antecipação do estudo dos objetos paramétricos (blocos cerâmicos), que também seriam utilizados durante a geração do *plug-in*; e

(d) revisão dos parâmetros e configurações em linguagem *script*, o que permitiu uma primeira aproximação com o ambiente BIM, em uma situação de menor complexidade que o *plug-in*.

Foi realizado um primeiro estudo genérico com o estabelecimento das configurações possíveis para um conjunto de paredes, organizadas em uma disposição com baixa complexidade, que permitisse todos os encontros dos tipos previstos (Figura 5a), com exceção do encontro em X. Devido a sua complexidade, esse foi estudado em separado, somente após o amadurecimento das configurações para os encontros em T, L e extremidade livre.

As variáveis  $x$ ,  $y$  e  $z$  foram substituídas por valores relativos às dimensões de resto R1, R2 e R3, buscando verificar as distribuições possíveis de blocos cerâmicos, a partir das diferentes combinações entre encontros, em que foram encontradas configurações semelhantes, mesmo para situações diferentes.

O mapeamento prévio dessas configurações é justificável para a verificação de recorrências e garantia de que não seja aberto precedente para a geração de soluções que tragam problemas de projeto e execução. Um exemplo verificado consiste em casos específicos nos quais, se colocados todos os blocos complementares nas extremidades dos segmentos, como desejado, haveria encontro de juntas na vertical, resultando

no problema de junta a prumo. A solução foi o deslocamento do bloco complementar da segunda fiada, de forma a desencontrar as juntas (Figura 5b).

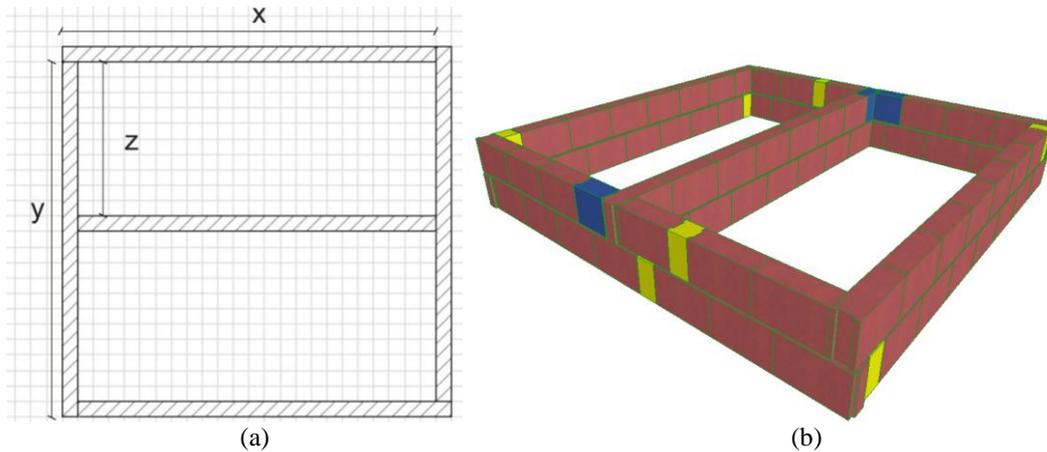
Posteriormente, essas configurações foram revisadas, e as recorrências foram agrupadas, facilitando sua organização, para posterior identificação. Nesse momento, foi estudado, ainda, o encontro em X, através do levantamento de seus possíveis pares com os encontros em L, T e extremidade livre.

Como resultado foi gerada uma tabela de configurações (Figura 6), relacionando em pares todos os encontros levantados (L, T, X e extremidade livre), para as dimensões R1, R2 e

R3, e foi realizada uma nova aplicação nos projetos A e B para conferência das alterações.

Em resumo, a classificação de cada alvenaria se dá em função dos encontros em suas extremidades e da dimensão do vão gerado entre os blocos de extremidade (R1, R2, R3), tendo a primeira fiada como referência. A partir dessa classificação, a configuração dos blocos cerâmicos para as fiadas pares e ímpares pode ser verificada na tabela preestabelecida. O resultado foi satisfatório, visto que as paginações das alvenarias de ambos os projetos foram representadas corretamente, permitindo, assim, o início da programação do *plug-in*.

Figura 5 - Disposição padrão adotada e suas respectivas variáveis (a) - exemplo de encontro onde foi necessário o deslocamento do bloco complementar da segunda fiada para evitar o problema de junta a prumo (b)



Fonte: Romcy (2012).

Figura 6 - Trecho da tabela de configurações, referente ao grupo 6, onde são apresentadas as combinações entre encontro X e encontros X, Li e T, para as dimensões R1, R2 e R3 - destaque para as recorrências de configurações mesmo para combinações diferentes

G06	X		
	R1	R2	R3
X			
T			
Li			

Fonte: Romcy (2012).

Nessa etapa foi utilizada a biblioteca de funções do aplicativo original, denominada API (*Application Programming Interface*), que compreende um ambiente disponibilizado pela própria empresa para que os programadores possam gerar novas ferramentas (ou *add-ons*), aumentando sua funcionalidade. No caso do ArchiCAD, a linguagem de programação utilizada é o C ou C++ (GRAPHISOFT, 2011).

Assim como no procedimento realizado para a geração dos parâmetros, para a programação também houve necessidade de se investigar primeiramente a alvenaria como objeto único e isolado, para só posteriormente se verificar como seriam estabelecidas as relações entre alvenarias diferentes (encontros).

Para a descrição da alvenaria isolada, as características dimensionais (altura, espessura e comprimento) foram referenciadas a partir dos comandos de descrição do objeto parede (*wall*), retirados do *API\_WallType*, enquanto para os encontros foram referenciadas as conexões realizadas entre objetos paredes diferentes, a partir do *API\_WallRelation*.

A programação seguiu a estrutura “*if...then*”, que se caracteriza pela determinação de uma condição a ser avaliada, podendo resultar em dois valores: *true* (verdadeiro) ou *false* (falso). Se a condição for verdadeira, os comandos preestabelecidos são executados.

A sequência de passos a serem tomados pelo software a partir do *plug-in* foi baseada na investigação realizada nas etapas anteriores, porém o programador teve total liberdade para propor novas alterações, se necessário.

O procedimento a ser realizado automaticamente pelo *plug-in* incluiu:

- (a) a identificação dos locais onde ocorrem encontros entre alvenarias;
- (b) a divisão das alvenarias em diferentes segmentos a partir dos encontros identificados;

- (c) a classificação desses segmentos em função de seu comprimento (R1, R2, R3);

- (d) a classificação final de cada segmento em função dos encontros em suas extremidades e do comprimento do segmento; e

- (e) o preenchimento da primeira e da segunda fiadas com os blocos cerâmicos, de acordo com a classificação, verificando-se a tabela de configurações preestabelecida.

A função desenvolvida consistiu na adição de uma nova aba, denominada “Alvenaria” (Figura 7), contendo o comando “Gerar Fiadas”. Sempre que selecionado o comando e clicado em determinado objeto parede, sua paginação é gerada automaticamente, mediante a distribuição dos blocos cerâmicos em formato GDL.

Para a averiguação de seu correto funcionamento, a ferramenta foi testada nos projetos A e B, mencionados anteriormente e utilizados ao longo de toda a pesquisa como exemplos de estruturas (configurações possíveis para os blocos cerâmicos).

Somou-se, ainda, a possibilidade da extração dos desenhos 2D, a partir do gerenciamento de *layers* (camadas), e a geração automática de tabelas com os quantitativos dos blocos cerâmicos, discriminados por tipo (30 cm, 20 cm, 10 cm).

A Figura 8 apresenta o resultado dessas funções para o projeto A, exemplificando a sequência realizada desde a planta baixa, como é feita originalmente pelo software ArchiCAD (Figura 8a), até o modelo BIM final, gerado pelo *plug-in* (Figura 8d), incluindo, ainda, os desenhos 2D da planta baixa de primeira fiada (Figura 8b) e a vista de uma das paredes do projeto (Figura 8c).

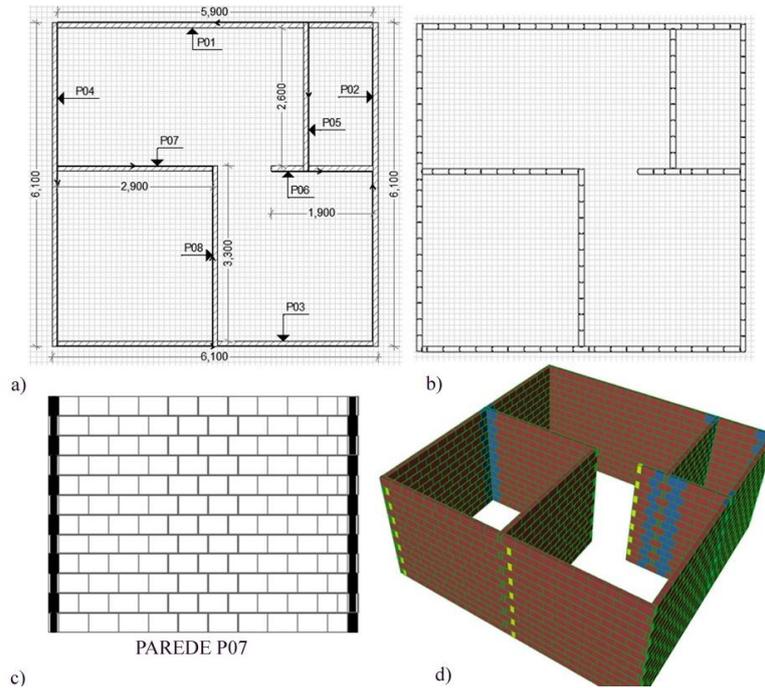
O resultado da aplicação do *plug-in* para o projeto B pode ser observado na Figura 9, com a apresentação do modelo BIM e a respectiva tabela de quantitativos dos blocos cerâmicos dispostos.

Figura 7 - Nova ferramenta “Alvenaria”, criada pelo *plug-in* no menu original do software ArchiCAD



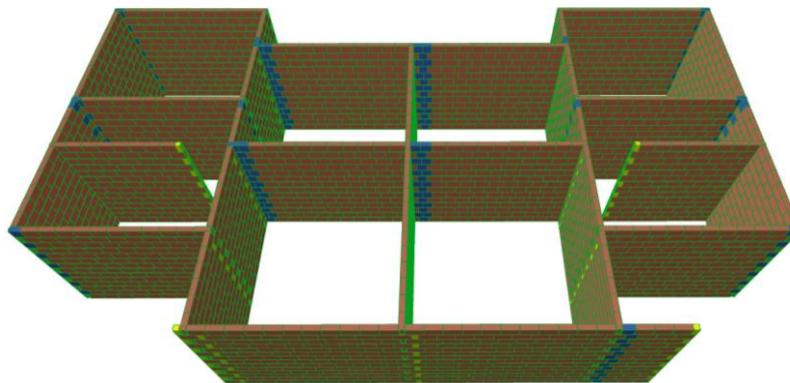
Fonte: Romcy (2012).

Figura 8 - Aplicação do *plug-in* para o projeto A, com inclusão da planta baixa original (a), planta de primeira fiada (b), vista de uma das paredes (c) e modelo BIM final (d)



Fonte: Romcy (2012).

Figura 9 - Perspectiva do modelo BIM para o projeto B e a respectiva tabela de quantitativos, geradas a partir do *plug-in*



Lista Inventário de Objectos

Quanti...	Tipo de Bloco	Comprimento	Altura	Largura
87	Bloco Um Terco	0.300	0.190	0.100
219	Bloco Dois Tercos	0.300	0.190	0.100
3785	Bloco Inteiro	0.300	0.190	0.100
4091				

Fonte: Romcy (2012).

Assim, a primeira versão do *plug-in* foi concluída satisfatoriamente com o cumprimento de sua função de distribuir automaticamente os blocos cerâmicos em fiadas, segundo os parâmetros preestabelecidos, permitindo, ainda, extração automática de desenhos técnicos e quantitativos.

É importante salientar que, para esse estudo, não foram previstas as aberturas e vãos, ficando a

sugestão para trabalhos futuros. Porém, prevê-se que sua inclusão seria possível com a retirada de determinados blocos inteiros no centro das alvenarias e rearranjo dos blocos complementares nas extremidades, seguindo os parâmetros preestabelecidos para os possíveis encontros.

Atualmente, uma pesquisa acerca de esquadrias moduladas está em andamento pelo grupo MEHIS

– Habitações Sustentáveis com Melhoria dos Processos Tradicionais, com a intenção de levantar recorrências e propôr parâmetros complementares que possam dar continuidade às intenções do presente trabalho.

## Validação

Com a conclusão da primeira versão do *plug-in*, foi realizada sua demonstração junto aos projetistas dos projetos A e B para a obtenção de *feedback* externo. Esse momento foi de extrema importância para a reflexão sobre a aplicabilidade e importância da presente pesquisa, com a contribuição de profissionais da área que não tiveram envolvimento direto com o trabalho. Constatou-se, assim, em um processo de validação externa.

Para o projeto A, contou-se com a presença de uma arquiteta e de um engenheiro civil, enquanto para o projeto B foram dois arquitetos, em ambos os casos projetistas responsáveis pelos projetos originais. As demonstrações foram feitas em separado para cada equipe e englobaram a apresentação da pesquisa, a demonstração do uso do *plug-in* para o respectivo projeto e a abertura para discussão, com a solicitação de dúvidas, sugestões e opiniões sobre a importância do trabalho. As duas sessões foram gravadas em arquivo de som para posterior análise do conteúdo e verificação das contribuições dos projetistas em relação aos aspectos solicitados. Das considerações dos projetistas, seguem as observações a seguir.

Os projetistas demonstraram interesse em utilizar a ferramenta, visto sua capacidade de automatizar funções antes realizadas de forma manual. Foi destacado que a automatização de atividades que não agregam valor, como a distribuição dos blocos cerâmicos em paginações e a extração dos quantitativos, disponibiliza mais tempo para atividades que realmente envolvam o trabalho intelectual dos projetistas.

Como sugestão, foi mencionada a inclusão de outras famílias de blocos cerâmicos e dos blocos especiais (U e J) para a interface com outros sistemas construtivos, além da possibilidade de se selecionar mais de um objeto parede ao mesmo tempo, para a criação da paginação.

Por fim, a possibilidade do estudo prévio de recorrências e de sua transformação em parâmetros para a alimentação de um sistema computacional que passa a lançá-las de forma rápida e automática foi vista como uma contribuição da pesquisa extremamente positiva.

Após a conclusão da validação externa da construção (*plug-in*) à qual a pesquisa se propôs,

houve necessidade de se revisar a metodologia utilizada para sua generalização, visando a sua aplicação em outros sistemas construtivos.

Com uma nova verificação das atividades realizadas ao longo das etapas de desenvolvimento, foi possível estabelecer o passo a passo da metodologia proposta:

- (a) identificar os componentes básicos do sistema construtivo em questão – ex.: os blocos cerâmicos da família selecionada;
- (b) identificar as relações que o objeto é capaz de estabelecer entre semelhantes – ex. os tipos de encontro entre alvenarias (L, T, X);
- (c) decompor as principais dimensões do objeto, em função dos componentes identificados. Nessa etapa é perceptível a importância da referência dimensional comum, característica da Coordenação Modular – ex.: altura, espessura e comprimento do objeto alvenaria;
- (d) identificar as dimensões “problema”, cuja complexidade de arranjo entre componentes é maior – ex.: comprimento da alvenaria;
- (e) estabelecer para cada dimensão problema o “divisor” no qual ela será decomposta e os “restos” que deverão ser previstos. Esses valores devem sempre ser decimétricos – ex.: para o comprimento da alvenaria, foi escolhido o valor de 30 cm como divisor, em função do bloco M3, enquanto os valores para o resto foram de 20 cm e 10 cm, de acordo com os blocos complementares;
- (f) mapear as dimensões recorrentes em função do divisor e dos restos previstos, estabelecendo uma primeira classificação – ex.: regra do R1, R2 e R3 para o comprimento da alvenaria;
- (g) mapear as configurações que o objeto estabelece em função das diferentes relações que ele pode realizar; levantar e agrupar recorrências, estabelecendo uma segunda classificação – ex.: alvenaria de encontro TT-R1, para uma parede que estabelece encontro T em ambas as extremidades e uma dimensão de valor R1; e
- (h) organizar graficamente como todas as configurações classificadas anteriormente podem ser combinadas entre si.

Para a conclusão da etapa de validação, foi realizada a aplicação da metodologia revisada em um segundo sistema construtivo, previamente selecionado, o *light steel framing*.

A escolha do LSF se deu em função de sua capacidade de racionalização e industrialização, tornando-o de fácil adequação aos princípios da Coordenação Modular. Sua principal característica é a estrutura constituída por perfis formados a frio

de aço galvanizado, utilizados para a composição de painéis estruturais e não estruturais, entre outros componentes da edificação (FREITAS; CASTRO, 2006).

Inicialmente foram identificados os componentes básicos do sistema construtivo em questão. O LSF é dividido basicamente em duas partes: os painéis estruturais, compostos de perfis de aço galvanizado; e o sistema de vedação, composto de placas industrializadas, cujos materiais mais comuns são placas cimentícias, placas OSB e placas de gesso acartonado. Os painéis estruturais são decompostos, ainda, em dois tipos de perfis: os montantes (perfis U enrijecidos), elementos paralelos verticais; e as guias (perfis U), elementos que fixam as extremidades dos montantes (inferior e superior) conformando a estrutura básica do sistema.

As relações estabelecidas no sistema LSF consistem nas configurações de encontros entre diferentes painéis, mantendo semelhanças com o que foi observado para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos (encontros em L, em T e em X). Porém, no caso do LSF, esses encontros são solucionados mediante diferentes combinações de seus montantes, visando sempre à rigidez do sistema, à resistência aos esforços e ao provimento de uma superfície para a fixação das placas de fechamento interno ou externo.

No que diz respeito às principais dimensões do objeto, verificou-se que a dimensão de maior complexidade e variação é o comprimento da parede, sendo a altura e a espessura constantes, em função de características fixas dos componentes (perfis e placas). Nesse caso, o comprimento da parede depende diretamente da modulação estabelecida para o distanciamento entre montantes, que, dependendo das especificações dos perfis, poderá ser de 400 mm ou de 600 mm.

O fabricante foi selecionado de acordo com os seguintes critérios: fornecimento em território nacional; e fácil acesso às especificações dos produtos. O espaçamento máximo determinado pelo fabricante foi de 400 mm, ou 40 cm, com referência de eixo para os perfis internos, e da superfície externa da alma, para perfis localizados nas extremidades.

Assim, foi definido o módulo de 40 cm como divisor do comprimento, resultando, como possibilidades de resto, os módulos complementares de 30 cm, 20 cm e 10 cm. Optou-se por não adotar intervalos de 10 cm, visto que resultariam em espaçamentos ínfimos se considerada a dimensão da mesa dos perfis. É

importante salientar, ainda, que se optou para vedação, interna e externa, por placas cimentícias de 10 mm de espessura, disponibilizadas pelo mesmo fabricante dos perfis.

Durante o mapeamento das dimensões recorrentes e das configurações possíveis, encontrou-se uma característica importante do tipo de modulação adotado para o sistema LSF. Quando justapostos, os elementos que compõem a espessura da parede não resultam em uma dimensão divisível por 10 cm, ou seja, não há adequação ao sistema decimétrico, característico da Coordenação Modular. Assim, deve-se atentar para que a modulação dos perfis seja restrita aos vãos internos das paredes, não sendo, portanto, contabilizada a espessura delas.

Para compreender melhor como isso ocorre, foi aplicada a malha de modulação do LSF ao projeto A, antes utilizado para a alvenaria em blocos cerâmicos, realizando-se as adaptações dimensionais necessárias. Tais adaptações consistiram basicamente no aumento da espessura da parede para 11 cm.

O que se percebeu foi que, diferentemente da alvenaria em blocos cerâmicos, a modulação do LSF independe dos elementos inclusos na espessura da parede e, conseqüentemente, do tipo de encontro realizado em suas extremidades.

Assim, foram discriminados dois aspectos independentes a serem considerados para a distribuição dos perfis:

- (a) a dimensão modulada entre vãos; e
- (b) o tipo de encontro entre paredes.

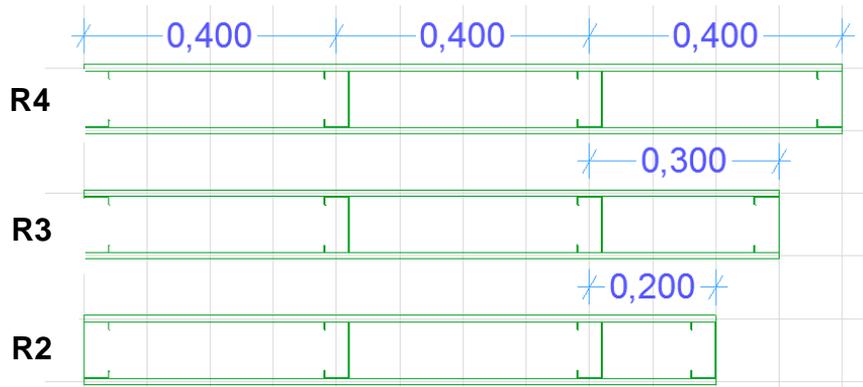
Para a dimensão modulada entre vãos, gerou-se uma classificação em função do comprimento, semelhante à adotada para as alvenarias em blocos cerâmicos:

- (a) R2 para resto de 20 cm;
- (b) R3 para resto de 30 cm; e
- (c) R4 para resto ZERO, ou seja, comprimentos divisíveis por 40 cm (Figura 10).

Para o aspecto “tipos de encontro entre paredes”, foram adotadas as configurações características do sistema construtivo, verificadas em referências bibliográficas (FREITAS; CASTRO, 2006) e apresentadas na Figura 11.

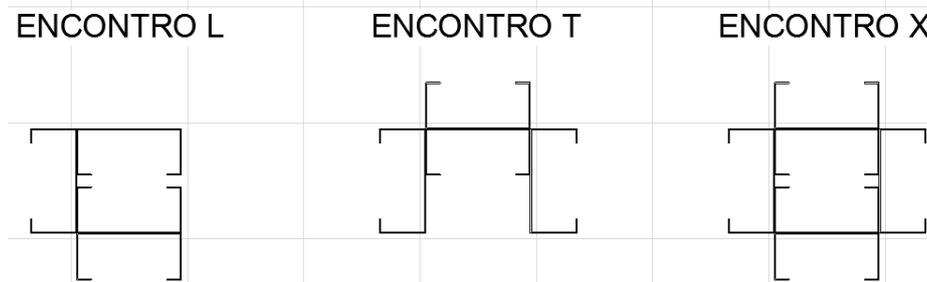
Novamente, percebeu-se que, em virtude do número reduzido de configurações diferentes, ou seja, de variáveis, não houve necessidade de se estabelecer uma organização gráfica em mapas, como o caso da alvenaria em blocos cerâmicos.

Figura 10 - Classificação das configurações para os diferentes tipos de vão (LSF)



Fonte: Romcy (2012).

Figura 11 - Configurações adotadas para os perfis para cada tipo de encontro L, T e X



Fonte: Romcy (2012).

Os parâmetros retirados para a descrição do sistema LSF consistem, assim, em três configurações básicas de vão (R2, R3 e R4), que podem ser associadas às três configurações básicas de encontros (L, T e X). Tal associação se trata de simples sobreposições, sem necessidade de alterações na disposição dos componentes, previamente estabelecida para as configurações em separado.

Dessa forma, foi concluída a etapa de validação interna da pesquisa, com a verificação de que a metodologia estabelecida inicialmente para a alvenaria racionalizada em blocos cerâmicos tem potencial de aplicação para outros sistemas construtivos.

## Considerações finais

Ao longo desta investigação, percebeu-se que só foi possível a generalização de uma metodologia graças ao cumprimento dos princípios da Coordenação Modular, o que permitiu o uso de um referencial dimensional comum e o domínio de variáveis, com a descoberta de recorrências e a consequente generalização de métodos e parâmetros. A geração de tais parâmetros, visando à alimentação de aplicativos BIM, possibilita a

inclusão de novas funções, como a automatização das paginações em alvenaria racionalizada, realizada no presente trabalho.

A partir da pesquisa foi estabelecida uma metodologia para o reconhecimento de regras de construção para objetos modulados, no caso, sistemas construtivos de vedação. Dessa forma, foi possível compreender a lógica de sistematização desses objetos e levantar recorrências para sua posterior tradução em parâmetros aplicáveis ao sistema BIM. Os princípios da Coordenação Modular não são, assim, traduzidos diretamente, mas utilizados como parte fundamental no processo de tradução, atuando como um referencial dimensional único. Devido à utilização da abordagem sistêmica ao longo do processo e ao reconhecimento do objeto a partir de seus componentes, relações e estruturas, pressupõe-se a possibilidade de utilização da metodologia aqui proposta para outros objetos, não apenas os sistemas construtivos de vedação apresentados, desde que sigam os princípios de modulação estabelecidos pela Coordenação Modular. Dessa forma, a pesquisa sugere possibilidades que vão além dos sistemas construtivos apresentados em seu estudo.

Como já mencionado, por se tratar do uso de uma referência dimensional única, a Coordenação Modular facilita a compreensão dos objetos como sistema, sua decomposição e o levantamento de recorrências, além da possibilidade de rearranjos entre determinada quantidade de componentes específicos para a criação de novas combinações, ou seja, novos objetos. Essas características facilitam o processo de criação de parâmetros para a alimentação do sistema BIM, possibilitando a geração de novas funções. Ressalta-se, ainda, a melhoria na comunicação entre profissionais de especialidades diferentes, através da otimização de informações, em função desse referencial dimensional comum. Tal aspecto deve ser destacado no desenvolvimento da presente pesquisa, que contou com uma equipe interdisciplinar com profissionais nos campos da arquitetura, engenharia civil e ciência da computação.

Por outro lado, o BIM disponibiliza ferramentas associadas ao conceito de desenho paramétrico e interoperabilidade que permitem um ambiente virtual integrado, em que os conceitos da Coordenação Modular podem ser aplicados e compreendidos a partir de uma visualização mais clara do modelo e de uma automatização de funções. Considerando que os principais gargalos para a consolidação da Coordenação Modular no Brasil incluem a falta de conhecimento sobre sua definição, o não reconhecimento apurado de seus benefícios e a falta de integração entre os diferentes agentes da cadeia produtiva, inclusive os fornecedores, as ferramentas de otimização de informação e os princípios colaborativos impulsionados pelo BIM lhe são extremamente benéficos.

Os resultados demonstraram que os objetivos inicialmente estabelecidos foram alcançados com a inclusão de novas funções em um aplicativo BIM de modelagem, a partir dos princípios da Coordenação Modular, devidamente aplicado em dois projetos de HIS junto a projetistas externos à pesquisa. O desenvolvimento da metodologia pretendida também foi realizado e validado com a aplicação em um segundo sistema construtivo de vedação, o *light steel framing*.

As contribuições acadêmicas incluem, ainda, o registro do processo de alteração do aplicativo BIM, referência para trabalhos futuros de intuito semelhante; o desenvolvimento de uma metodologia para a tradução de objetos modulados em parâmetros, visando à alimentação de modelos BIM; e, por fim, a reflexão teórica sobre os benefícios trazidos pela associação entre BIM e Coordenação Modular, embasada pela

investigação desenvolvida ao longo de todo o trabalho.

## Referências

ANDRADE, M. L. V. X.; RUSCHEL, R. C. BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO 2009, São Paulo. **Anais...** São Carlos, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15873**: coordenação modular para edificações. Rio de Janeiro, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12006-2**: construção de edificação: organização de informação da construção: parte2: estrutura para classificação de informação. Rio de Janeiro, 2010b.

AYRES, C. **Acesso ao Modelo Integrado do Edifício**. Curitiba, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

CUPERUS, Y. An Introduction to Open Building. In: ANNUAL CONFERENCE INTERNATIONAL GROUP FOR LEAN CONSTRUCTION, 9., Singapore, 2001. **Proceedings...** Singapore, 2001.

DUARTE, J. P. **Personalizar a Habitação em Série**: uma gramática discursiva para as Casas da Malagueira do Siza. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2007.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook**: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

FREITAS, A. M. S.; CASTRO, R. C. M. **Steel Framing**: arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006.

GRAPHISOFT. **Graphisoft API Development Kit Documentation**. 2011. Disponível em: <<http://www.graphisoft.com/support/developer/documentation/DocAPIDevKit.html>>. Acesso em: 12 abr. 2011.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. **Introdução à Coordenação Modular da Construção do Brasil**: uma abordagem atualizada. Porto Alegre: ANTAC, 2007. Coleção Habitar.

GUIA DA CONSTRUÇÃO. **BIM e Coordenação Modular Serão Normatizados**. São Paulo: PINI. Agosto, 2009. Ed. 97.

- HUANG, J.; KRAWCZYK, R.; SCHIPPOREIT, G. **Integrating Mass Customization With Prefab Housing**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF ARAB SOCIETY FOR COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN, 2., Shrijah, 2006. **Proceeding...** Sharjah, 2006.
- ITO, A. L. Y. **Gestão da Informação no Processo de Projeto de Arquitetura**: estudo de caso. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.
- KASANEN, E.; LUKKA, K.; SIITONEN, A. The Constructive Approach in Management Accounting research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 241-264, Fall 1993.
- KYMMELL, W. **Building Information Modeling**: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations. New York: McGraw-Hill, 2008.
- 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. Series B1.
- MASCARÓ, L. E. R. de. Coordinación Modular? Que és? **Summa**, Buenos Aires, v. 103, 1976.
- MEHIS – Habitações Sustentáveis Com Melhoria dos Processos Tradicionais. **Desenvolvimento e Difusão de Tecnologias Construtivas Para Habitação Social no Ceará**. Fortaleza: ANTAC, 2010. Rede Habitare/FINEP.
- MONTEIRO, A. **Projeto Para Produção de Vedações Verticais em alvenaria em Uma Ferramenta CAD-BIM**. São Paulo, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- NICHOLSON-COLE, D. **Object Making With ArchiCAD**: GDL for beginners. Budapest: Graphisoft, 2000.
- ORCIUOLI, A. Projeto Assistido Por Computador: ontem, hoje, amanhã. **Revista Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 197, p. 108-111, ago. 2010.
- ROMCY, N. M. S. **Proposta de Tradução dos Princípios da Coordenação Modular em Parâmetros Aplicáveis ao Building Information Modeling**. Fortaleza, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Estruturas e Construção Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.
- RUSCHEL, R. C. *et al.* Building Information Modeling Para Projetistas. In: FABRÍCIO, M. M.; ORNSTEIN, S. W. (Org.). **Qualidade no Projeto de Edifícios**. São Carlos: RiMa, ANTAC, 2010.
- SANTOS, A. *et al.* **Gargalos Para a Disseminação da Coordenação Modular**. In: Colóquios de Pesquisa em Habitação: Coordenação Modular e Mutabilidade. Belo Horizonte: Escola de Arquitetura UFMG, 2007.
- SUCCAR, B. Building Information Modeling Framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.
- TÉCHNE. Modulação Blocada. **Pini**, São Paulo, v. 176, nov. 2011.
- VIEIRA, J. A. **Teoria do Conhecimento e Arte**: formas de conhecimento, arte e ciência, uma visão a partir da complexidade. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2006.
- VILATÓ, R. R.; FRANCO, L. S. **Racionalização do Projeto de Edifícios em Alvenaria Estrutural**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2000.

**Neliza Maria e Silva Romcy**

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia | Universidade Federal do Ceará | Av. da Universidade, 2890 - Benfica, Campus do Benfica | Fortaleza - CE - Brasil | CEP: 60020-181 | Tel.: (85) 3366-7495 | E-mail: neliza.romcy@gmail.com

**Daniel Cardoso**

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia | Universidade Federal do Ceará | E-mail: danielcardoso@ufc.br

**Alexandre Araújo Bertini**

Departamento de Engenharia Estrutural e Construção Civil, Centro de Tecnologia | Universidade Federal do Ceará | Campus do PICI, s/n, Bloco 710, Centro de Tecnologia, Pici | Fortaleza - CE - Brasil | CEP 60455-900 | Tel.: (85) 3366-9607 Ramal 33 | E-mail: bertini@ufc.br

**André Paes**

Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Centro de Tecnologia | Universidade Federal do Ceará | E-mail: andrenpaes@gmail.com

***Revista Ambiente Construído***

Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Av. Osvaldo Aranha, 99 - 3º andar, Centro

Porto Alegre - RS - Brasil

CEP 90035-190

Telefone: +55 (51) 3308-4084

Fax: +55 (51) 3308-4054

[www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido](http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido)

E-mail: [ambienteconstruido@ufrgs.br](mailto:ambienteconstruido@ufrgs.br)